LES VÉHICULES POIDS LOURDS

Cours établi par des Artisans, des Techniciens,
des Ingénieurs et des Professeurs
sous la direction de R. Augé, Ingénieur A. et M.

COURS DE 2e ANNÉE

E. A. M. — 25, rue des Ecoles, PARIS (5e)

Leçon 1



Toutes les leçons doivent être conservées.

LES PRESCRIPTIONS DU CODE DE LA ROUTE

Cette leçon résume les règles essentielles que le code de la route impose aux constructeurs de poids lourds. Ces prescriptions intéressent le gabarit et le poids total en charge, le freinage, l'éclairage et la signalisation, la vitesse maximum et, enfin, le permis de conduire.

LE GABARIT ET LE POIDS TOTAL EN CHARGE

Les prescriptions relatives au gabarit

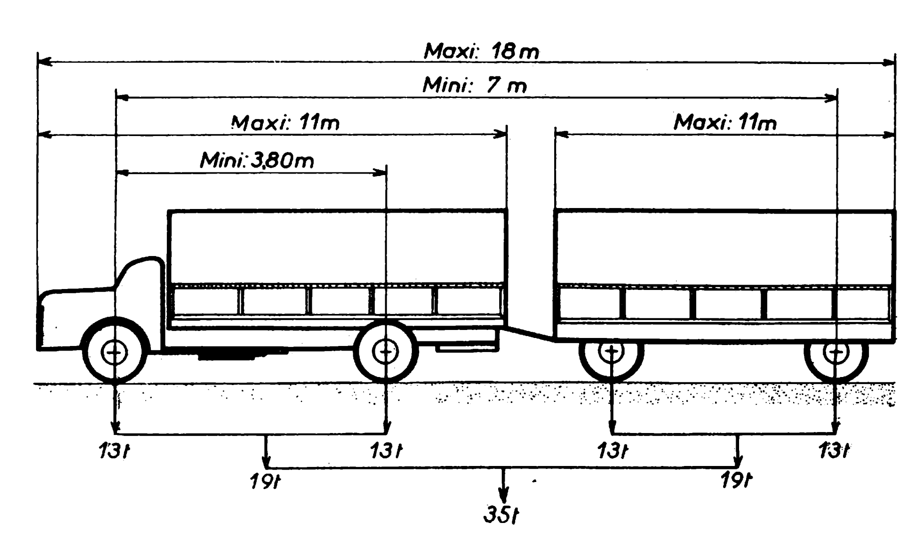
Largeur maximum autorisée		2,50 mètres, hors tout.
Longueur maximum autorisée	— Véhicule isolé	11 mètres (1).
	— Véhicule articulé	15 mètres.
	— Ensemble	18 mètres.

Les prescriptions relatives au poids total en charge

Par essieu		13	tonnes.
Pour deux essieux consécutifs	— Pour 0,90 mètre d'écartement	7,350	tonnes.
	— Pour 1,35 mètre d'écartement	10,500	tonnes.
Pour deux essieux extrêmes	— Par mètre linéaire d'empattement	5	tonnes.
Par convoi		35	tonnes.
Par véhicule	— Pour deux essieux	19	tonnes.
	— Pour trois essieux	26	tonnes.

Le cas d'un camion à deux essieux et d'une remorque à deux essieux

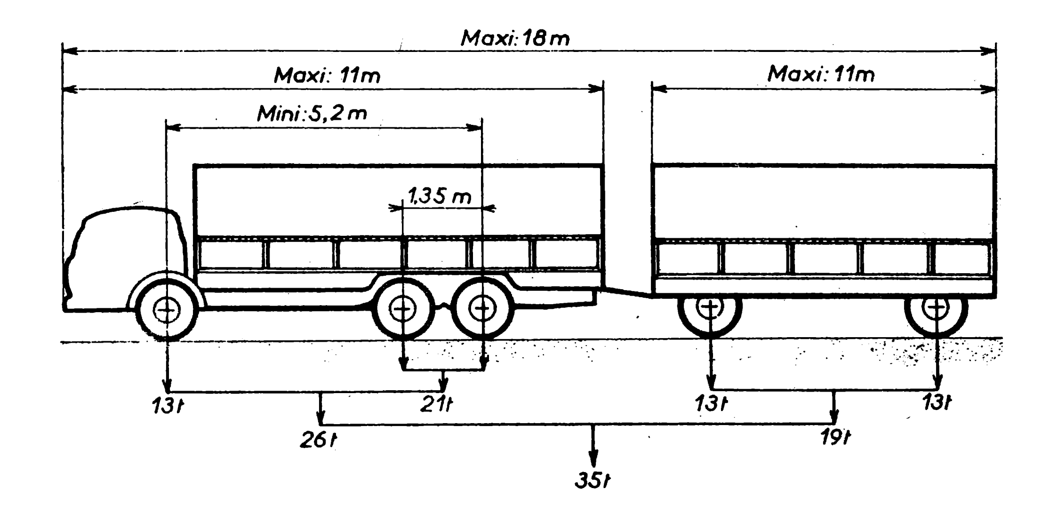
Poids total en charge maximum	— Pour chaque essieu	13	tonnes.
	— Pour le véhicule isolé	19	tonnes.
	— Pour l'ensemble	35	tonnes.
Longueur totale maximum	— Pour le véhicule isolé	11	mètres.
	— Pour l'ensemble	18	mètres.
Ecartement minimum des essieux extrêmes	— Pour le véhicule isolé	3,80	mètres.
	— Pour l'ensemble	7	mètres.



(1) La longueur maximum d'un véhicule isolé peut être portée, sous réserve, à 12 mètres, pour les véhicules de transport en commun.

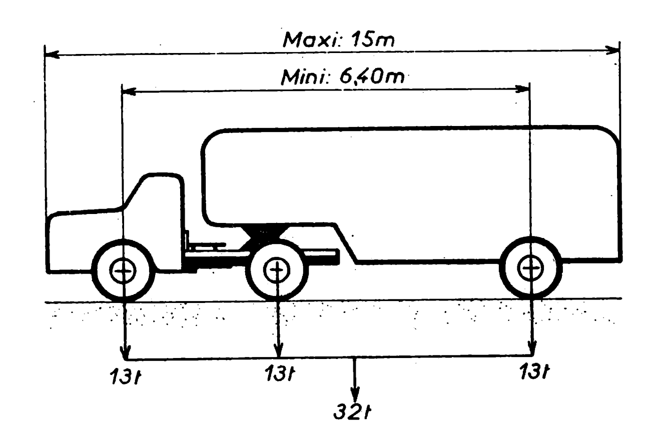
Le cas d'un camion à trois essieux et d'une remorque à deux essieux

Poids total en charge maximum	— Pour chaque essieu	13 tonnes.
	— Pour les essieux consécutifs	21 tonnes.
	— Pour le véhicule isolé...........	26 tonnes.
	— Pour l'ensemble..................	35 tonnes.
Longueur totale maximum	— Pour le véhicule isolé...........	11 mètres.
	— Pour l'ensemble..................	18 mètres.
Ecartement minimum des essieux du véhicule isolé	— Pour les essieux extrêmes	5,2 mètres.
	— Pour les essieux consécutifs.	Conforme à la règle générale.



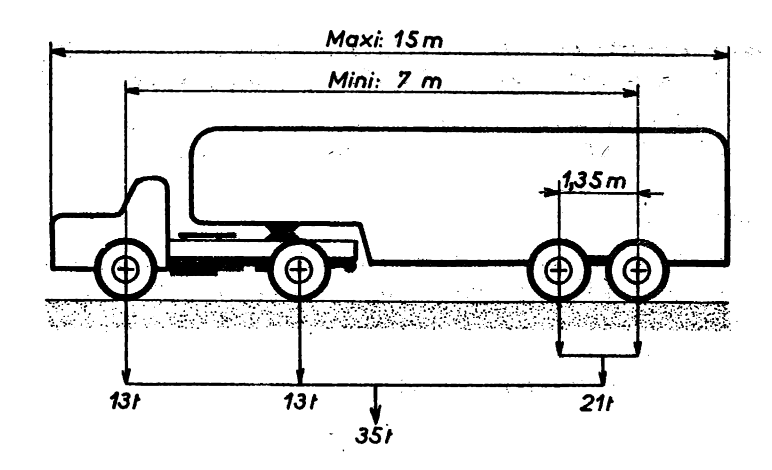
Le cas d'un tracteur à deux essieux et d'une semi-remorque à un essieu

Poids total en charge maximum	— Pour chaque essieu	13 tonnes.
	— Pour l'ensemble..................	32 tonnes.
Longueur totale maximum	....	15 mètres.
Ecartement minimum des essieux extrêmes	....	6,40 mètres.



Le cas d'un tracteur à deux essieux et d'une semi-remorque à deux essieux

Poids total en charge maximum	— Pour chaque essieu.............	13 tonnes.
	— Pour les essieux consécutifs :	
	- Ecartement : 1,35 m	21 tonnes.
	- Ecartement : 0,90 m	14,7 tonnes.
	— Pour l'ensemble................	35 tonnes.
Longueur totale maximum	....	15 mètres.
Ecartement minimum des essieux	— Pour les essieux extrêmes........	7 mètres.
	— Pour les essieux consécutifs.	Conforme à la règle générale.



LE FREINAGE

Tout véhicule automobile doit comporter au moins deux dispositifs de freinage : l'un principal, l'autre de secours. Les commandes de ces deux dispositifs doivent obligatoirement être entièrement indépendantes.

— Le dispositif principal des véhicules de transport en commun de poids total en charge supérieur à 8 tonnes et des véhicules de transport de marchandises de poids total en charge supérieur à 16 tonnes, doit être réalisé de façon que le freinage de l'essieu avant et celui de l'essieu arrière fonctionnent indépendamment.

— Le dispositif principal des remorques et semi-remorques doit assurer, en cas de rupture d'attelage, l'arrêt rapide et automatique de la remorque.

— Tous les véhicules doivent posséder un frein de parcage mécanique.

— Les véhicules de transport en commun de poids total en charge supérieur à 8 tonnes et circulant dans des régions difficiles et accidentées *(désignées par arrêtés préfectoraux)* doivent être équipés d'un dispositif ralentisseur.

Les distances d'arrêt et les décélérations requises

Au moment de leur réception par le Service des Mines, les poids lourds doivent satisfaire aux conditions d'arrêt et de décélération présentées dans le tableau ci-dessous.

Véhicules	Distance d'arrêt à 40 km/h *(en mètres)*		Décélération *(en mètres/seconde/seconde)*	
	FREIN PRINCIPAL	FREIN DE SECOURS	FREIN PRINCIPAL	FREIN DE SECOURS
Moins de 16 tonnes	24	43,2	5,5	2,35
Plus de 16 tonnes	24,8	44,6	5	2,35
Transport en commun	24	43,2	5,5	2,5

L'ÉCLAIRAGE ET LA SIGNALISATION

Les prescriptions du code de la route français concernant les poids lourds sont les mêmes que celles concernant les voitures légères. Cependant, quelques prescriptions supplémentaires sont à observer.

Les feux de stationnement

Les véhicules dont la longueur excède 6 mètres ou la largeur 2 mètres, doivent posséder deux feux de pcsition émettant une lumière blanche vers l'avant, et deux feux rouges à l'arrière.

Les feux de gabarit

Les véhicules dont la longueur excède 6 mètres ou la largeur, chargement compris, 2,10 mètres doivent posséder, aux extrémités de la largeur hors-tout :

— deux feux avant lumière blanche ou jaune non éblouissante,
— deux feux arrière lumière rouge non éblouissante.

Les amplificateurs de sons

Les véhicules ou ensembles de véhicules dont la longueur hors tout dépasse 14 mètres, doivent être munis d'un appareil récepteur permettant au conducteur de percevoir les avertissements des usagers voulant le dépasser : appareils acoustiques ou optiques et agréés.

La présignalisation du véhicule

Tout véhicule dont le poids total en charge excède 3,5 tonnes stationnant sur la chaussée, ou tout chargement s'y trouvant par accident, doit faire l'objet d'une présignalisation à l'aide d'un triangle placé à 30 mètres de l'obstacle.

LA VITESSE MAXIMUM

La vitesse maximum des véhicules poids lourds a été réglementée par l'arrêté du 23 septembre 1954.

— *Moins de 10 tonnes*	Pas de limitation
— *De 10 à 15 tonnes*...............	85 km/h
— *De 15 à 19 tonnes*...............	75 km/h
— *De 19 à 26 tonnes*...............	65 km/h
— *Au-dessus de 26 tonnes*..........	60 km/h

LES PERMIS DE CONDUIRE

Trois permis de conduire sont relatifs à la conduite des poids lourds.

Le permis C

Le permis C autorise la conduite des véhicules automobiles dont le poids total en charge est supérieur à 3,5 tonnes.

Il ne peut être obtenu qu'après l'âge minimum de 18 ans et ne peut être accordé que sur le vu d'un certificat médical favorable.

Il est valable jusqu'à ce que son titulaire atteigne 35 ans. Il doit être prorogé, sur présentation d'un certificat médical, lorsque son titulaire atteint 35,40,45,50,55 et 60 ans et ensuite tous les deux ans.

Le permis D

Le permis D autorise la conduite des véhicules automobiles transportant plus de 8 personnes *(non compris le conducteur)*.

Il ne peut être obtenu qu'après l'âge minimum de 21 ans et ne peut être accordé que sur le vu d'un certificat médical favorable.

Il est délivré pour une durée maximum :

— de 5 ans, au conducteur âgé de moins de 45 ans ;
— de 3 ans, au conducteur dont l'âge est compris entre 45 et 55 ans ;
— de 2 ans, au conducteur dont l'âge est compris entre 55 et 60 ans ;
— de 1 an, au conducteur ayant dépassé 60 ans.

Il peut être prorogé, sur le vu d'un nouveau certificat médical, suivant la même périodicité que ci-dessus.

Le permis E

Le permis E autorise la conduite des véhicules automobiles des catégories B, C et D attelés d'une remorque dont le poids total en charge est supérieur à 750 kilogrammes.

Il s'obtient dans les mêmes conditions que le permis du véhicule tracteur.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE FONCTIONNEMENT DES MOTEURS

Avant d'aborder l'étude du fonctionnement d'un moteur Diesel, il est indispensable de repréciser certaines notions élémentaires de physique, le rôle des organes essentiels du moteur, leurs caractéristiques et leur principe.

LA COMPRESSION ET LA DETENTE DES GAZ

La compression et la détente des gaz s'accompagnent de variations de température, de volume et de pression qui sont à la base du fonctionnement des moteurs.

La compression des gaz

Quand vous gonflez le pneu de votre bicyclette, vous faites pénétrer à l'intérieur de la chambre une grande quantité d'air, vous le comprimez à l'intérieur. Après un certain temps de gonflage l'extrémité de la pompe est chaude, même brûlante. Cette *élévation de température* est due à la compression du gaz dans le corps de pompe. Plus la compression d'un gaz est forte, plus la chaleur dégagée est grande et plus la température du gaz s'élève

La compression d'un gaz dégage de la chaleur qui élève sa température.

Bouchez maintenant l'orifice de la pompe avec le doigt et enfoncez le piston. Au fur et à mesure que vous réduisez le volume de l'air contenu dans le corps de pompe, vous éprouvez plus de difficultés à enfoncer le piston, car la pression intérieure augmente;

La réduction du volume occupé par un gaz s'accompagne d'une augmentation de pression et de température (Pression x volume = constante, loi de Mariotte).

Remarque :

Sous l'effet de la chaleur, un gaz se dilate. Par conséquent, s'il est contenu dans un récipient étanche et que, par suite, son volume ne puisse pas augmenter, c'est sa pression qui augmente. Donc, lorsqu'on comprime un gaz, le dégagement de chaleur contribue aussi à l'élévation de la pression.

La détente des gaz

Si vous lâchez le piston de la pompe, il est repoussé en arrière. On dit que le gaz comprimé *se détend,* c'est-à-dire que son volume augmente, en même temps que sa pression baisse.

L'augmentation du volume occupé par un gaz s'accompagne d'une diminution de pression.

LES ORGANES PRINCIPAUX D'UN MOTEUR DIESEL

Dans un moteur Diesel, c'est la combustion du gas-oil dans l'air qui fait apparaître l'énergie, dans un *espace clos* appelé *cylindre (fig. 1).*

— La *paroi supérieure du cylindre* est une partie fixe, la *culasse,* dans laquelle sont ménagées deux ouvertures fermées par les *soupapes.* L'ouverture de ces soupapes est commandée par un *arbre à cames,* des *poussoirs,* des *tiges de culbuteurs* et des *culbuteurs.* Leur fermeture est assurée par des *ressorts.*

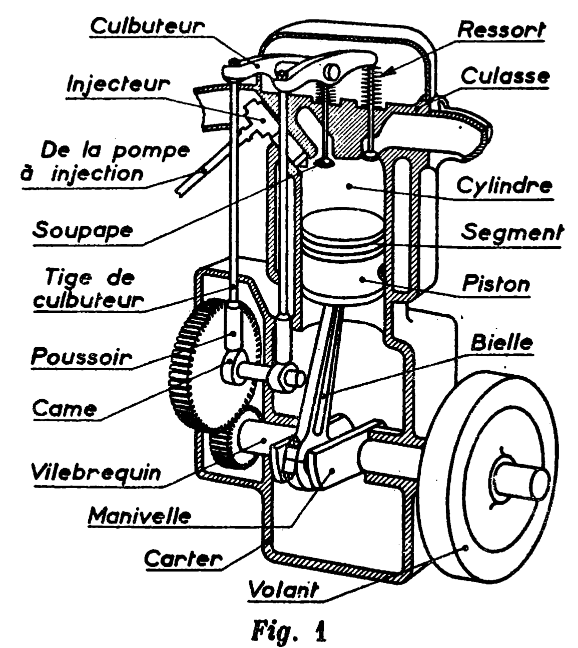


Fig. 1

— La *paroi inférieure du cylindre* est mobile ; c'est le *piston* dont les déplacements font varier le volume du cylindre. L'étanchéité entre la paroi du piston et celle du cylindre est assurée par des *segments.*

Un *système bielle-manivelle* assure la transmission au vilebrequin de l'énergie produite dans le cylindre. Ce dispositif transforme le mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement circulaire continu du vilebrequin, utilisable pour l'entraînement de la transmission et par conséquent des roues.

Un *volant*, pièce lourde calée sur l'axe du vilebrequin, permet au pied de bielle de franchir sans à-coups les deux points morts, grâce à l'élan qu'il acquiert pendant la rotation.

Un *carter* supporte le vilebrequin et protège les organes internes du moteur.

L'*injecteur* et la *pompe à injection* ont pour rôle d'introduire le gas-oil, au moment voulu, dans le cylindre, sous forme d'un brouillard finement pulvérisé.

Le *système de refroidissement*, à eau ou à air, dissipe une partie de la chaleur produite par la compression et la combustion, afin de maintenir à une valeur convenable la température du moteur.

LES CARACTERISTIQUES DU MOTEUR

La *figure* 2 rappelle la définition de certains termes courants.

— Le *point mort haut* (P.M.H.) correspond à la position la plus haute du piston, quand le pied de bielle est au point 1.

— Le *point mort bas* (P.M.B.) correspond à la position la plus basse du piston, quand le pied de bielle est au point 2.

— La *course* du piston est la distance C comprise entre le P.M.B. et le P.M.H. Elle est égale à deux fois la longueur du bras de manivelle. Elle s'exprime couramment en millimètres.

— la *chambre de combustion* ou de compression est le volume *v* compris entre le P.M.H. et la culasse. C'est dans cette chambre qu'est comprimé l'air, en fin de course du piston.

— L'*alésage* est le diamètre intérieur A du cylindre. Il s'exprime couramment en millimètres.

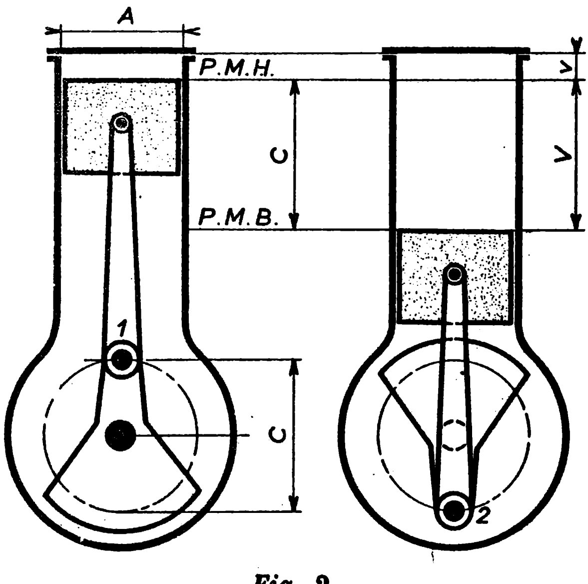


Fig. 2

La cylindrée d'un moteur

La cylindrée unitaire est le volume V du cylindre compris entre le P.M.H. et le P.M.B.. Ce volume dépend de l'*alésage* A et de la *course* C. Il est égal au produit de la surface du piston $\frac{\pi \times A^2}{4}$ par la course C, soit :

$$V = \frac{\pi \times A^2 \times C}{4}$$

V = Cylindrée unitaire en *centimètres cubes (ou en litres)*
A = Alésage en *centimètres.*
C = Course du piston en *centimètres.*

Les moteurs possèdent généralement plusieurs cylindres dans lesquels la combustion à lieu à intervalles réguliers, ce qui régularise l'effort moteur et diminue les vibrations. Le volume de la *cylindrée totale* est alors :

Cylindrée totale = V × N

V = Cylindrée unitaire en *centimètres cubes (ou en litres)*
N = Nombre de cylindres.

Exemple de calcul

Quelle est la cylindrée totale d'un moteur à quatre cylindres de 78 millimètres d'alésage et de 100 millimètres de course ?

La cylindrée unitaire a pour valeur :

$$V = \frac{\pi \times A^2 \times C}{4} = \frac{3,14 \times 7,8 \times 7,8 \times 10}{4} = 477,6 \text{ cm}^3$$

La cylindrée totale du moteur est donc :

$$V \times N = 477,6 \times 4 = 1\,910,4 \text{ cm}^3 \simeq 1,9 \text{ litre}$$

Remarques :

1° La cylindrée d'exprime en centimètres cubes ; il est donc indispensable de convertir toutes les données en centimètres.

2° Lorsque la cylindrée d'un moteur est supérieure à 1 000 centimètres cubes, on l'exprime souvent en litres. Souvenez-vous que :

1 *litre* = 1 *décimètre cube* = 1 000 *centimètres cubes.*

Le taux de compression (ou rapport volumétrique)

Le taux de compression d'un moteur est le rapport entre :

— le volume des gaz *avant compression,* c'est-à-dire le volume V de la cylindrée unitaire augmentée du volume *v* de la chambre de combustion, soit V + *v* ;

— le volume des gaz *après compression,* c'est-à-dire le volume *v* de la chambre de combustion.

Le taux de compression se calcule à l'aide de la formule :

$$\text{Taux de compression} = \frac{V + v}{v}$$

V = Cylindrée unitaire en *centimètres cubes.*
v = Volume de la chambre de combustion en *centimètres cubes*

Exemple de calcul

Quel est le taux de compression d'un moteur dont la cylindrée unitaire est 1 500 centimètres cubes et dont la chambre de combustion a un volume de 100 centimètres cubes ?

$$\text{Taux de compression} = \frac{V + v}{v} = \frac{1\,500 + 100}{100} = 16$$

Remarque :

En règle générale, on peut dire que *plus le taux de compression d'un moteur est élevé, meilleur est son rendement*; c'est-à-dire plus il fournit de travail pour une même consommation de carburant.

Le taux de compression du moteur Diesel est nettement supérieur à celui du moteur à explosion.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE MOTEURS

Nous croyons utile de vous rappeler ci-dessous les différences essentielles de principe, entre les trois types de moteurs courants.

Le principe des moteurs à explosion

Dans le moteur à explosion, l'énergie est fournie par la dilation brusque, dans la chambre de combustion, d'un *mélange gazeux composé d'essence et d'air.* Pour obtenir cette dilatation brusque, on provoque *l'explosion,* c'est-à-dire la *combustion instantanée* du mélange gazeux. Dans ce type de moteurs, il faut donc :

– *réaliser un mélange combustible,* en dosant convenablement l'essence et l'air : c'est le rôle du *carburateur;*

– *provoquer l'explosion de ce mélange* dans la chambre de combustion : c'est le rôle du *système d'allumage* qui produit une étincelle H.T. au moment voulu.

Dans un moteur à essence, le taux de compression est compris entre 7 et 9. Au-dessus, il y a risque d'explosion spontanée du mélange carburé (auto-allumage), ce qui nuirait au bon fonctionnement du moteur. Ce taux, assez faible, peut facilement être supporté par des organes légers d'un prix de revient assez bas.

Le principe du moteur Diesel

Dans le moteur Diesel, l'énergie est produite par la combustion d'un carburant *(gas-oil)* dans l'air comprimé et fortement surchauffé. Cette combustion entraîne une augmentation de la pression du gaz qui fournit l'énergie. Dans ce type de moteur, il faut donc :

– *faire pénétrer de force le carburant* à enflammer, dans la chambre de combustion remplie d'air comprimé : c'est le rôle de l'*injecteur* et de la *pompe à injection :*

– *assurer la combustion du carburant* : c'est uniquement la *forte compression* de l'air qui, par suite de l'échauffement qu'elle entraîne, provoque l'inflammation spontanée du carburant.

Dans un moteur Diesel, le taux de compression peut être beaucoup plus élevé que dans un moteur à essence, puisque le cylindre est rempli *d'air pur* qui ne risque pas d'exploser spontanément.

Le taux de compression d'un moteur Diesel est compris entre 15 et 22 allant parfois jusqu'à 30. Les fortes pressions auxquelles sont soumis les organes du moteur entraînent la réalisation d'ensembles mécaniques massifs et lourds, très robustes mais coûteux.

Le principe du moteur semi-Diesel

Dans le moteur semi-Diesel, la compression de l'air est moins forte que dans le moteur Diesel; par suite, l'air atteint une température moins élevée que dans le Diesel. Le mélange ne peut s'enflammer seul et ce genre de moteur doit être muni d'un *dispositif d'allumage* particulier : bougie de réchauffage, boule chaude, etc.

Dans un moteur semi-Diesel, le taux de compression, ramené à 12 environ, permet d'alléger les organes.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE FONCTIONNEMENT DES MOTEURS (suite)

LE CYCLE À QUATRE TEMPS THÉORIQUE

LE PRINCIPE DE LA REPRÉSENTATION GRAPHIQUE D'UN CYCLE

Dans son ensemble, le cycle à quatre temps d'un moteur Diesel ressemble à celui d'un moteur à essence, mais avec des pressions beaucoup plus élevées. Ce cycle peut se représenter graphiquement.

– *Sur un axe horizontal*, nous indiquerons les déplacements du piston du P.M.H. au P.M.B. Ces déplacements correspondent aux variations de volume du cylindre, exprimées en centimètres cubes *(fig. 1)*.

– *Sur un axe vertical,* nous porterons les variations de pression dans le cylindre correspondant aux déplacements du piston. Ces pressions sont exprimées en décanewtons.

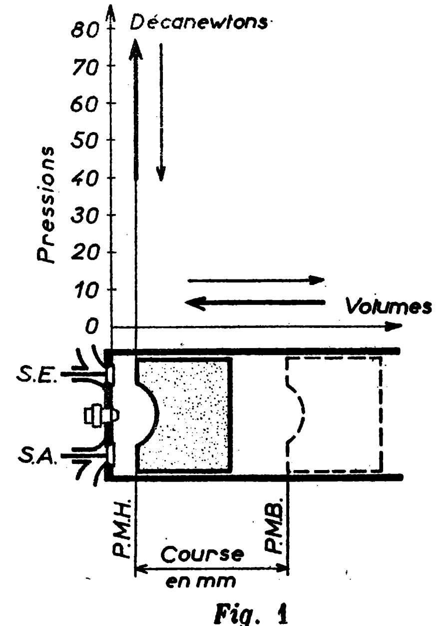


Fig. 1

PREMIER TEMPS : admission

Dans le moteur Diesel, l'admission a pour rôle de remplir le cylindre d'*air pur.*

Au début de ce temps, la soupape d'admission (S.A.) s'ouvre *(fig. 2a).*

Le piston entraîné par le vilebrequin qui a reçu de l'énergie au cycle précédent, descend du P.M.H. au P.M.B. en créant une dépression dans le cylindre, par suite de l'augmentation du volume. Le cylindre se remplit d'air pur : c'est l'*admission.*

On peut considérer que, pendant l'admission, la pression dans le cylindre reste sensiblement égale à la pression atmosphérique *(1,033 décanewton).* Il en résulte que ce temps est représenté sur le graphique par une droite A B parallèle à l'axe horizontal *(fig. 2b).*

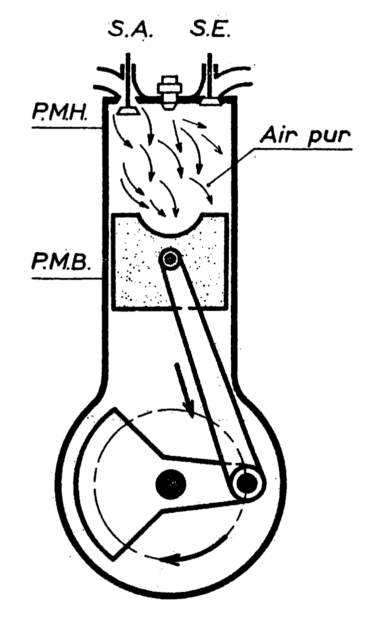


Fig. 2 a

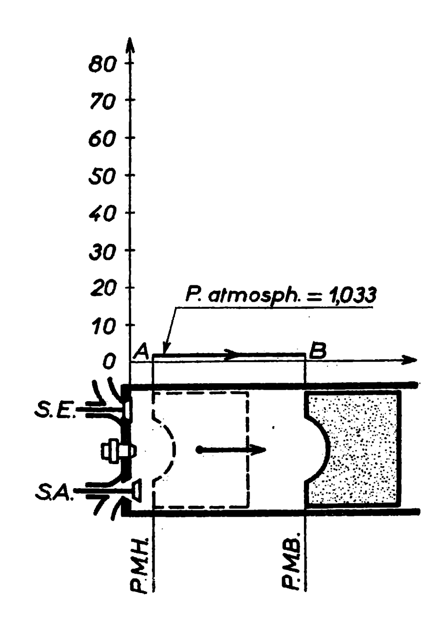


Fig. 2 b

DEUXIEME TEMPS : compression

Au début de ce temps, la soupape d'admission se ferme *(fig. 3a)*. Après avoir franchi le P.M.B., le piston remonte jusqu'au P.M.H. en comprimant fortement l'air pur dans la chambre de combustion : c'est la *compression*.

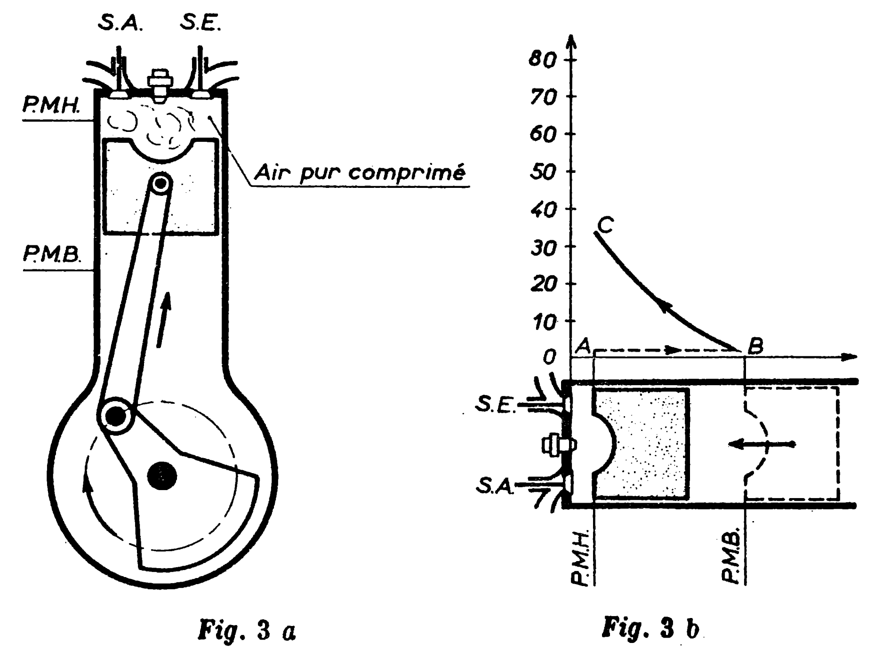


Fig. 3 a ***Fig. 3 b***

La température s'élève considérablement *(600° environ)*, car le taux de compression du moteur Diesel est élevé. Cet échauffement tend à provoquer une dilatation du gaz. Mais, comme dans la chambre de combustion l'air ne peut se dilater, il en résulte une augmentation de pression. La forte pression atteinte en fin de compression *(35 décanewtons environ)* est donc le résultat :

— d'une part, de la diminution de volume du cylindre, en raison de la remontée du piston ;
— d'autre part, de la forte élévation de température de l'air contenu dans le cylindre.

Sur le graphique, la compression est représentée par la courbe B C *(fig. 3b)*.

TROISIEME TEMPS : combustion et détente

En fin de compression, l'*injecteur* introduit le gas-oil dans la chambre de combustion, sous la forme d'un brouillard formé de fines gouttelettes *(fig. 4a)*. Au contact de l'air chaud, le carburant s'enflamme spontanément. La combustion engendre une très forte pression qui chasse le piston vers le P.M.B. : c'est la *détente*. Pendant son déplacement du P.M.H. au P.M.B., le piston transmet son énergie au vilebrequin : c'est le *temps moteur*.

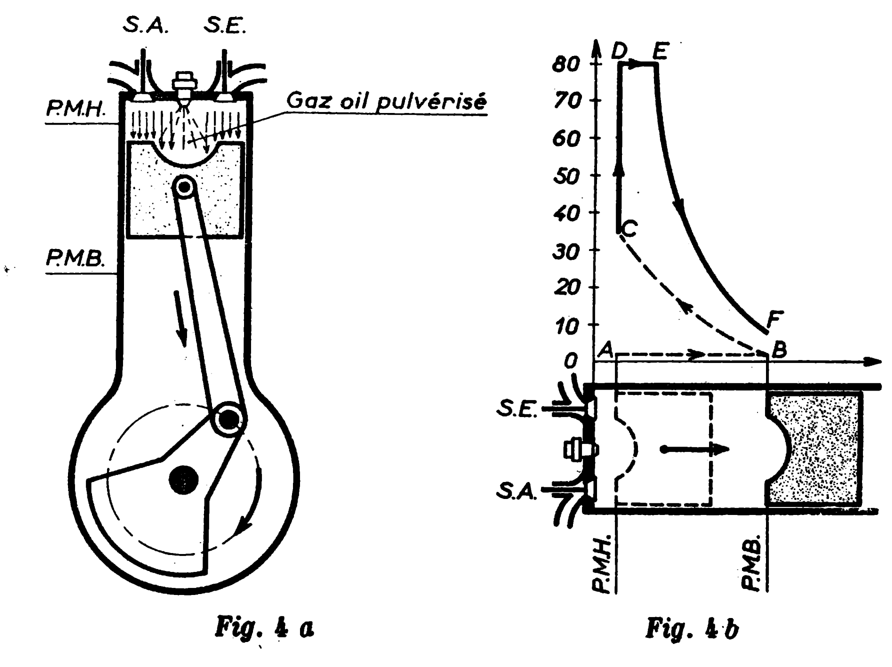


Fig. 4 a ***Fig. 4 b***

Une étude approfondie du troisième temps permet de distinguer trois phases.

Première phase

Le début de la combustion est trop brutal, pour que le piston ait le temps de se déplacer. Il en résulte que c'est la pression qui s'élève de façon considérable *(80 décanewtons environ).* Cette phase est représentée par la droite C D *(fig. 4b).*

Deuxième phase

Puis, le piston commence à descendre pendant que l'injection et la combustion continuent. L'augmentation de volume due à la descente du piston est compensée par la dilatation des gaz due à la combustion. Il en résulte que la pression dans le cylindre reste sensiblement constante. Cette phase est représentée par la partie droite D E du graphique.

Troisième phase

A partir du point E, la combustion cesse ; mais le piston continue à descendre, ce qui entraîne une diminution de pression dans le cylindre. Cette détente est figurée par la courbe E F. Quand le piston arrive au P.M.B., il reste une certaine pression dans le cylindre.

QUATRIEME TEMPS : échappement

Quand le piston arrive au P.M.B., la soupape d'échappement (S.E.) s'ouvre *(fig. 5a).* Entraîné par son élan, le piston franchit le P.M.B. et remonte vers le P.M.H. en chassant devant lui les gaz brûlés qui s'évacuent par la soupape d'échappement : c'est l'*échappement.*

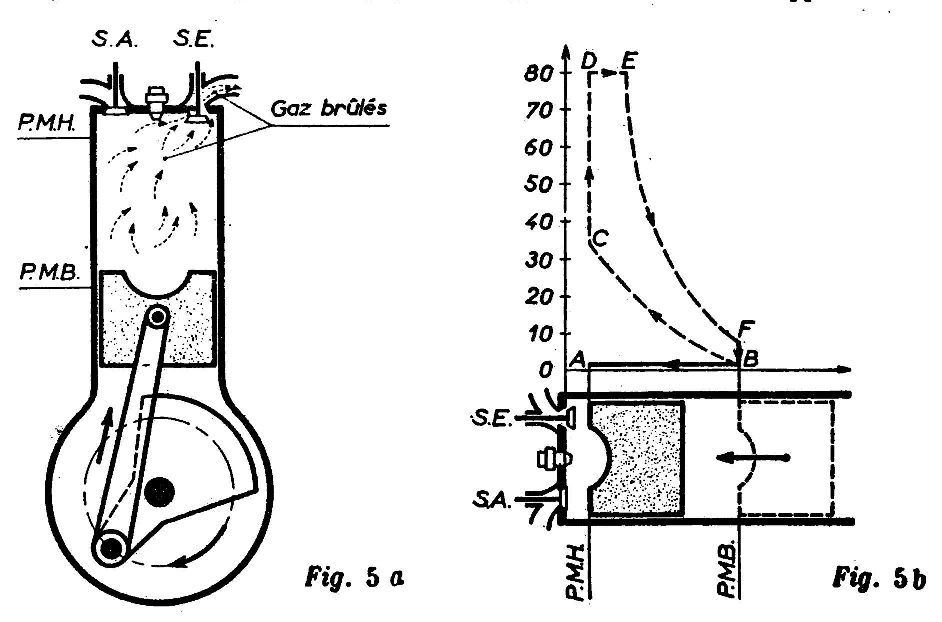


Fig. 5 a **Fig. 5 b**

L'étude détaillée du quatrième temps permet de distinguer deux phases.

Première phase

Au moment où la soupape d'échappement s'ouvre, la pression dans le cylindre tombe brutalement et redevient sensiblement égale à la pression atmosphérique. Cette chute de pression correspond à la partie droite F B du graphique *(fig. 5b).*

Deuxième phase

Pendant sa remontée, le piston chasse les gaz brûlés qui sont évacués par la tubulure d'échappement. Cette phase est représentée par la droite B A.

Quand le piston atteint le P.M.H., la soupape d'échappement se ferme. Les soupapes et le piston se retrouvent dans la même position qu'au début du premier temps. Les quatre fonctions : admission, compression, détente, échappement, vont se répéter dans le même ordre. Elles constituent un *cycle.*

***Remarques* :**

1° Pour effectuer un cycle complet, le vilebrequin a fait deux tours et il a suffit d'ouvrir une seule fois la soupape d'admission et une seule fois la soupape d'échappement.

Il en résulte que l'arbre à cames, qui commande l'ouverture des soupapes, doit tourner une fois par cycle, soit deux fois moins vite que le vilebrequin.

2° Au cours d'un cycle, le piston effectue quatre courses, mais c'est seulement pendant le temps moteur *(troisième course)* que le piston fournit de l'énergie au vilebrequin.

Pendant les trois autres temps, c'est le vilebrequin qui entraîne le piston en lui *restituant l'énergie* que le volant a emmagasinée pendant le temps moteur : ces temps sont ***résistants.***

Au départ, les deux premiers temps sont assurés par le ***démarreur.***

3° C'est pour simplifier notre étude que nous avons traité le cas d'un moteur monocylindre. Bien entendu, les moteurs Diesel comportent généralement plusieurs cylindres (2, 3, 4, 5, 6, etc) disposés en ligne, en vé, etc...

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE FONCTIONNEMENT DES MOTEURS (suite)

LE CYCLE À QUATRE TEMPS PRATIQUE

Le graphique étudié dans la leçon précédente représente les variations de pression et de volume des gaz contenus dans le cylindre, pendant le fonctionnement d'un moteur Diesel à quatre temps. On l'appelle *diagramme théorique* car, pour l'établir, on a considéré le cycle théorique du moteur en supposant que les soupapes s'ouvrent et se ferment exactement au P.M.B. et au P.M.H. Comme dans le cas du moteur à essence, le cycle pratique diffère sensiblement du cycle théorique, car le rendement du moteur n'est jamais parfait. Pour rapprocher le cycle pratique du cycle théorique, c'est-à-dire, pour améliorer le rendement du moteur, il faut :

— modifier les moments d'ouverture et de fermeture des soupapes d'admission et d'échappement ;
— modifier le début de l'injection.

L'AVANCE A L'OUVERTURE D'ADMISSION (A.O.A.)

Pendant l'admission, le cylindre se remplit insuffisamment et la pression de l'air y reste toujours inférieure à la pression atmosphérique. Ce faible *taux de remplissage* du cylindre est causé par le laminage et l'inertie des gaz.

Le *laminage* est le freinage qui se produit au passage de l'air entre la soupape d'admission et son siège, passage dont la section est forcément réduite.

L'*inertie* d'un gaz s'oppose à sa mise en mouvement ou à son arrêt instantanés, exactement comme une bicyclette ne s'élance pas dès qu'on appuie sur les pédales et ne s'immobilise pas dès que cesse l'action des pédales.

Pour améliorer le taux de remplissage, on ouvre la soupape d'admission avant le passage du piston au P.M.H. *(comparez les figures 1a et 1b).* L'air qui, dans la tubulure d'admission, est toujours animé d'une certaine vitesse, peut en raison de l'inertie pénétrer dans le cylindre avant le P.M.H. C'est l'avance à l'ouverture à l'admission (A.O.A.).

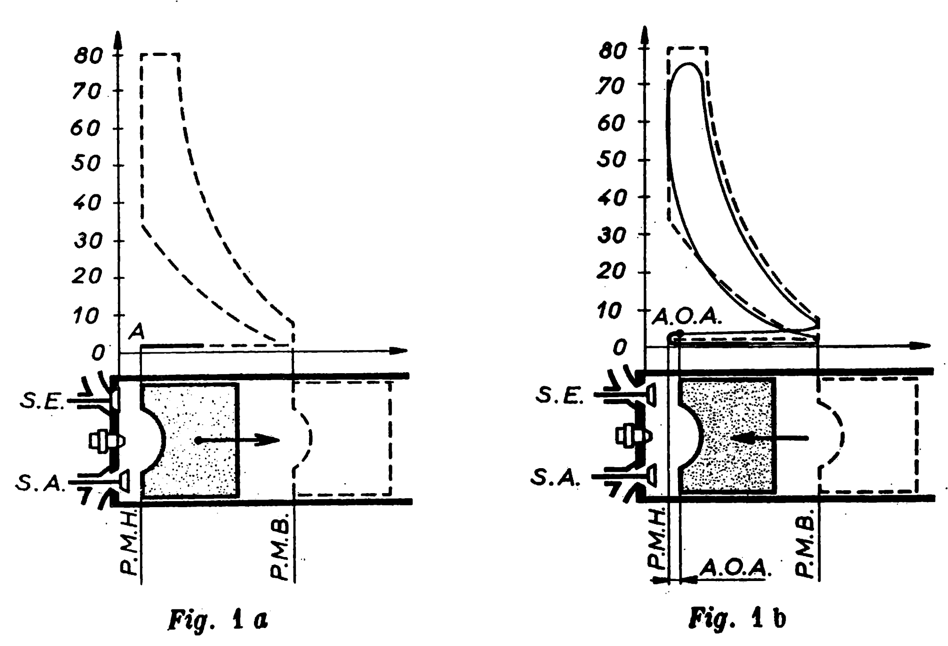


Fig. 1 a *Fig. 1 b*

Sur la *figure 1b,* la soupape d'admission vient de s'ouvrir, alors que le piston n'a pas encore atteint le P.M.H.

LE RETARD A LA FERMETURE D'ADMISSION (R.F.A.)

Toujours afin d'utiliser l'inertie de la veine gazeuse, on ne ferme la soupape d'admission qu'après le passage du piston au P.M.B. *(comparez les figures 2a et 2b)*. Ainsi, grâce à la vitesse acquise, l'air continue à pénétrer dans le cylindre, alors que le piston commence à remonter. Ce retard à la fermeture d'admission R.F.A. améliore encore le taux de remplissage du cylindre.

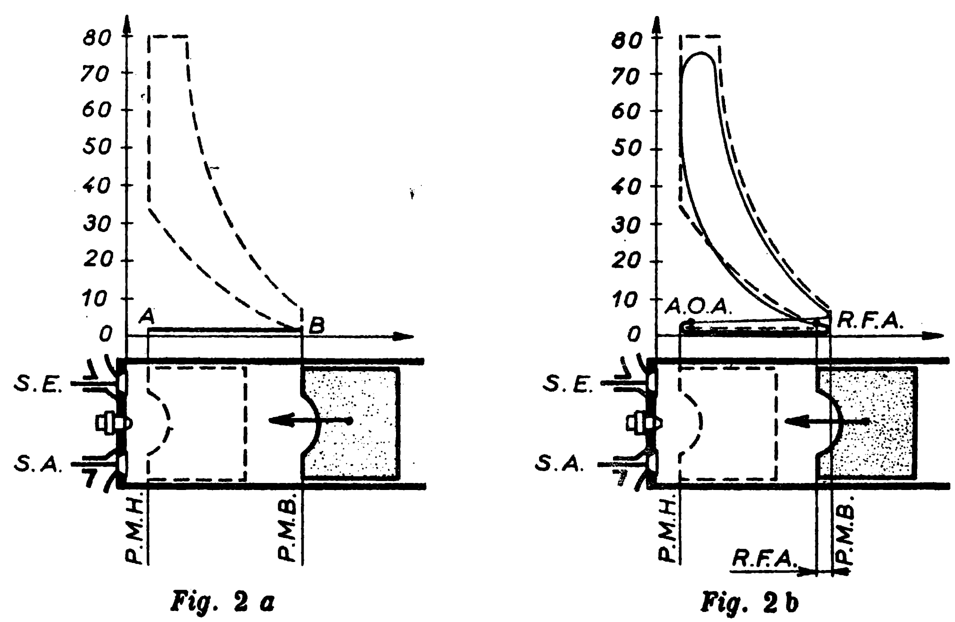


Fig. 2 a *Fig. 2 b*

Sur la *figure 2b*, la soupape d'admission vient de se fermer, alors que le piston a déjà franchi le P.M.B.

L'AVANCE A L'INJECTION (A.I.)

Pendant la compression, la pression atteinte en fin de course est inférieure à celle prévue par le diagramme théorique, pour plusieurs raisons.

— D'abord, la pression au début de ce temps est inférieure à la pression atmosphérique.
— Ensuite, une certaine quantité de chaleur est toujours dissipée en pure perte dans la masse du moteur.
— Enfin, la combustion du gas-oil n'est pas instantanée et, à cause de ce délai d'allumage, le piston a déjà entamé sa descente au moment où le gas-oil s'enflamme.

Pour atténuer les inconvénients du délai d'allumage on commence l'injection du gas-oil dans la chambre de combustion, avant le passage du piston au P.M.H. *(comparez les figures 3 a et 3 b)*. C'est l'avance à l'injection (A.I.). Ainsi, la combustion est déjà amorcée au début de la course de détente.

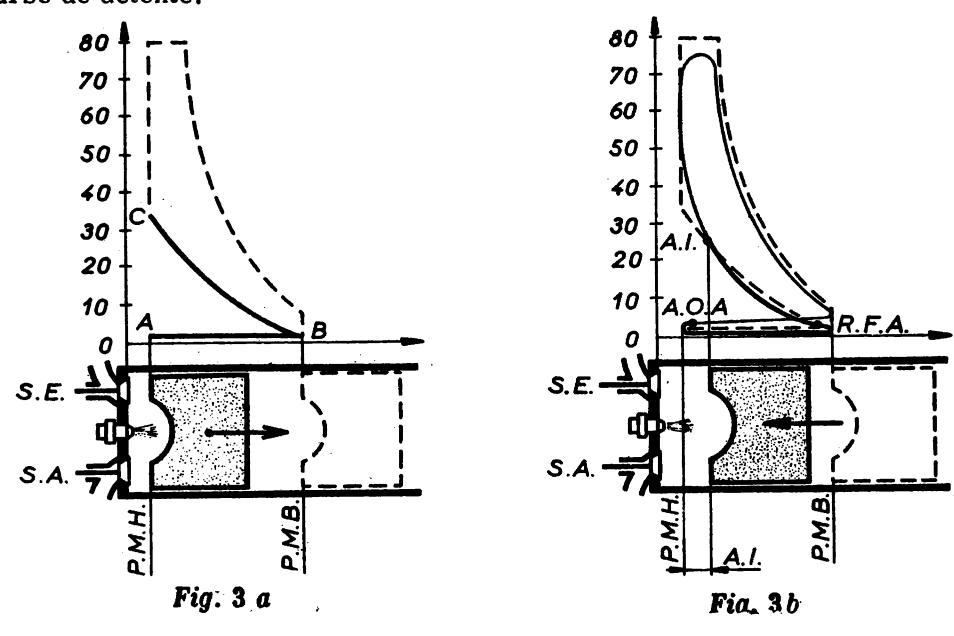


Fig. 3 a *Fig. 3 b*

Sur la *figure 3 b*, l'injection vient de se produire, alors que le piston n'a pas encore **atteint** le P.M.H.

L'AVANCE A L'OUVERTURE D'ECHAPPEMENT (A.O.E.)

Dans le cycle théorique, la soupape d'échappement s'ouvre au début de la remontée du piston ; mais la pression à l'intérieur du cylindre ne redevient pas instantanément égale à la pression atmosphérique. Il en résulte que le piston est freiné dans sa remontée par la pression existant dans le cylindre.

Pour que la pression en fin de détente retombe plus rapidement, on ouvre la soupape d'échappement avant le passage du piston au P.M.B. *(comparez les figures 4 a et 4 b)*. C'est l'avance à l'ouverture d'échappement (A.O.E.).

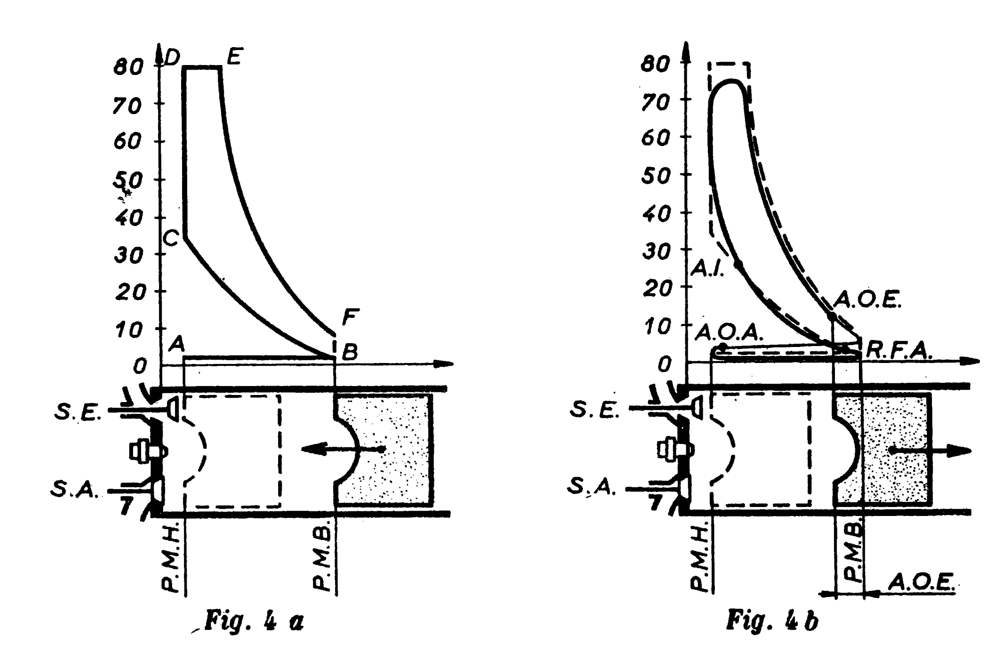


Fig. 4 a *Fig. 4 b*

Sur la *figure 4 b*, la soupape d'échappement vient de s'ouvrir, alors que le piston n'a pas encore atteint le P.M.B.

LE RETARD A LA FERMETURE D'ECHAPPEMENT (R.F.E.)

Pour permettre une évacuation plus complète des gaz brûlés, on utilise l'inertie des gaz, en ne fermant la soupape d'échappement qu'après le passage du piston au P.M.H. *(comparez les figures 5 a et 5 b)*. C'est le retard à la fermeture d'échappement (R.F.E.).

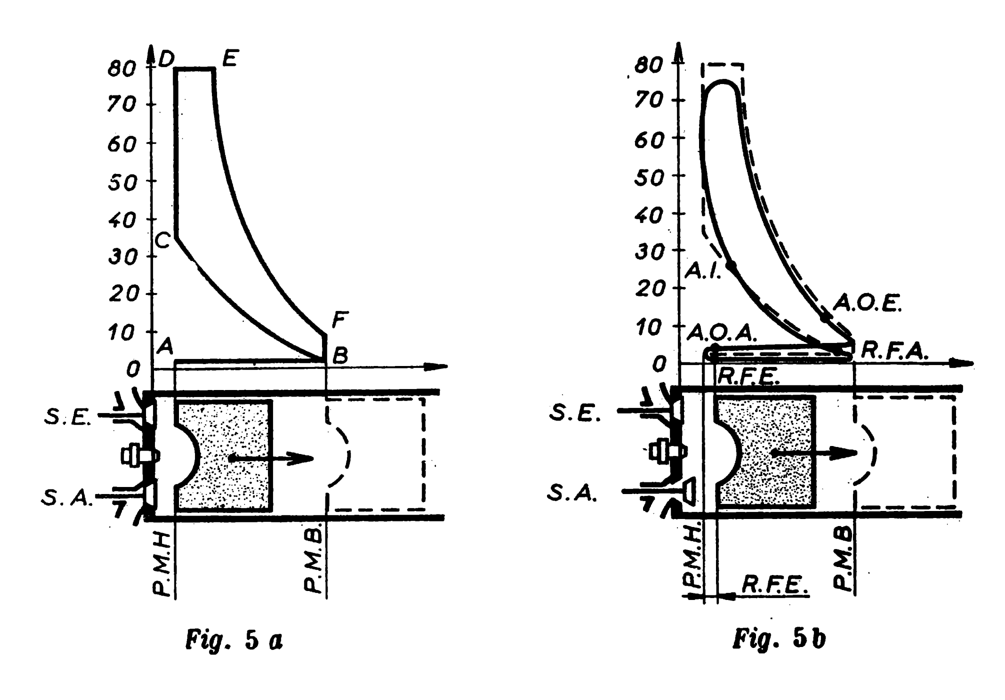


Fig. 5 a *Fig. 5 b*

Sur la *figure 5b*, la soupape d'échappement vient de se fermer, alors que le piston a déjà franchi le P.M.H.

Remarque :

La soupape d'admission et celle d'échappement sont ouvertes en même temps au P.M.H. :

— La soupape d'admission est en avance à l'ouverture (A.O.A.).

— La soupape d'échappement est en retard à la fermeture (R.F.E.).

Cette disposition provoque le balayage des gaz brûlés par l'air aspiré. On dit que les deux soupapes sont *en bascule* ou en *chevauchement* (moteur à soupapes croisées).

LE REGLAGE LINEAIRE. LE REGLAGE ANGULAIRE

Le décalage des ouvertures et des fermetures des soupapes est indiqué par le constructeur du moteur.

— Pour le *réglage linéaire*, le décalage est exprimé en millimètres, par rapport au P.M.H. ou au P.M.B. *(fig. 1b à 5b)*.

— Pour le *réglage angulaire* ou *circulaire*, le décalage est exprimé en degrés de rotation du vilebrequin.

La *figure 6* vous indique la construction progressive de l'épure circulaire.

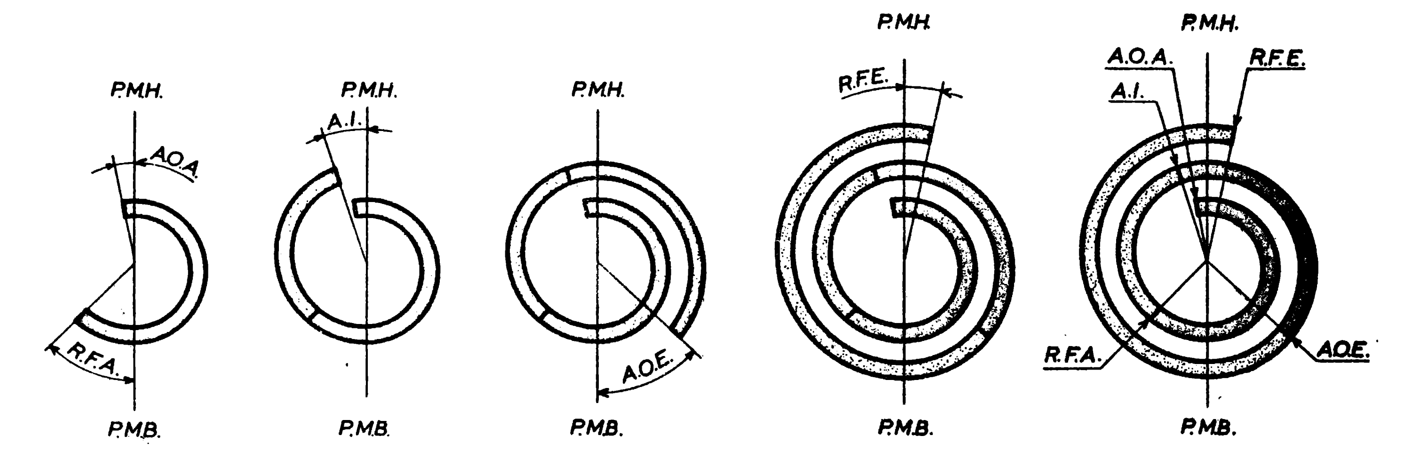


Fig. 6

Remarque :

Une étude attentive de l'épure circulaire terminée vous montre que les cinq réglages pratiqués sur un moteur modifient la durée des temps du cycle. Notez les ***chevauchements*** énumérés ci-dessous.

— Admission et compression.
— Compression et combustion-détente.
— Combustion-détente et échappement.
— Echappement et admission.

Valeur approximative de ces réglages :

A.O.A. → 0 à 20°
A.F.A. → 30 à 60°
A.I. → 0 à 10°
A.O.E. → 30 à 60°
A.F.E. → 0 à 20°

Toutes les leçons doivent être conservées.

LES GÉNÉRALITÉS SUR LA COMBUSTION DU GAS-OIL

DANS UN MOTEUR DIESEL

Dans un moteur Diesel, l'énergie est fournie par la combustion de gas-oil pulvérisé sous forme de brouillard dans la chambre de combustion remplie d'air fortement comprimé et par suite chaud. La combustion du gas-oil est un phénomène complexe qui a posé aux techniciens de nombreux problèmes difficiles à résoudre.

LES CARACTÉRISTIQUES DU GAS-OIL

Comme l'essence, le gas-oil est un produit de la distillation du pétrole brut.

La *densité* du gas-oil est de 0, 850 environ ; c'est-à-dire qu'un litre de gas-oil pèse 0, 850 kilogramme.

La *température d'inflammation spontanée* du gas-oil est de 280 degrés : c'est-à-dire qu'il s'enflamme seul, s'il est porté à cette température, sous la pression atmosphérique.

L'*indice de cétane* caractérise le gas-oil, tout comme l'indice d'octane l'essence. L'indice de cétane donne une indication sur la valeur du *délai d'allumage,* c'est-à-dire sur le temps passé entre le début de l'injection du gas-oil et le début de sa combustion. Cet indice est établi par comparaison du combustible à essayer et d'un mélange à indice de cétane connu. Ce mélange est composé de cétane *(indice 100 à délai d'allumage presque nul)* et d'alphaméthylnaphtalène *(indice 0).* Plus le pourcentage est élevé, plus le délai d'allumage est court.

Délai plus long ←——— 45 ——————— 75 ———→ *Délai plus court*

NOTA : Par décret, le gas-oil vendu en France, pour les moteurs Diesel, ne doit pas avoir un indice de cétane inférieur à 50.

La *viscosité* du gas-oil doit être assez faible pour que sa pulvérisation soit facile, mais pas trop, pour ne pas nuire à l'étanchéité et au graissage.

La *teneur en soufre* du gas-oil doit être comprise entre 0, 5 et 0, 7 %, car la combustion du soufre peut, dans certaines conditions, produire de l'acide sulfurique qui corrode le cylindre.

La *température de distillation,* c'est-à-dire la température à partir de laquelle le gas-oil commence à émettre des vapeurs, ne doit être :

— ni trop basse pour éviter la formation de poches de vapeur dans les injecteurs ;
— ni trop élevée pour éviter des dépôts charbonneux dus à une mauvaise combustion.

LES CONDITIONS D'UNE BONNE COMBUSTION

Pour que la combustion du gas-oil dans la chambre de combustion s'effectue de façon satisfaisante, il faut que l'injection du combustible respecte certaines conditions.

— Pour pouvoir pénétrer dans la chambre de combustion, il faut que la pression du gas-oil atteigne une valeur supérieure à celle de l'air comprimé : c'est la *pompe d'injection* qui fournit cette pression.

— Pour que le gas-oil puisse s'enflammer facilement, il doit être injecté sous la forme d'un brouillard constitué par une multitude de très fines gouttelettes. Cette pulvérisation poussée est obtenue en forçant le gas-oil à pénétrer dans la chambre de combustion, au travers d'un orifice de très petite dimension ménagé dans l'injecteur.

— Pour que la combustion soit la plus complète possible, il est indispensable que chaque gouttelette de gas-oil injecté trouve l'air nécessaire à sa combustion, sinon le moteur émet des fumées noires à l'échappement. C'est pourquoi, il est indispensable d'admettre dans le cylindre plus d'air qu'il n'en faut théoriquement. Cet *excès d'air* varie, à pleine charge, suivant le type de moteur.

Enfin, pour que le mélange du gas-oil à l'air s'effectue dans les meilleures conditions, il faut que l'air soit animé d'un mouvement en tourbillons, désigné sous le nom de *turbulence.*

LES TROIS PHASES DE LA COMBUSTION

La combustion du gas-oil, dans un moteur Diesel, s'effectue en trois phases bien distinctes.

La première phase

Lorsqu'elles sortent de l'injecteur, les gouttelettes de gas-oil sont encore à basse température. Elles se mélangent à l'air chaud de la chambre de combustion et s'échauffent.

La deuxième phase

Pendant cet échauffement, le gas-oil frais continue à pénétrer dans la chambre de combustion. Puis, quand les premières gouttelettes introduites ont atteint leur température d'inflammation spontanée, elles brûlent, ce qui déclenche l'allumage de tout le combustible injecté dans la chambre. L'augmentation brutale de la pression supportée par le piston se traduit par un bruit caractéristique appelé *cognement.* L'importance du cognement augmente évidemment avec le délai d'allumage.

La troisième phase

Le combustible injecté brûle ensuite au fur et à mesure de son entrée dans le cylindre. La combustion s'arrête quand l'injection de gas-oil dans le cylindre cesse. Nous étudierons en détail le fonctionnement de l'injecteur et celui de la pompe d'injection qui commande le début et la fin de l'injection.

LA REDUCTION DU COGNEMENT

Le cognement nuit à la durée des organes du moteur. Il faut, pour le réduire et en minimiser les effets, *raccourcir le délai d'allumage,* car plus ce délai est court, plus la quantité de gas-oil qui brûle instantanément est faible. Plusieurs moyens peuvent être utilisés pour écourter ce délai.

L'emploi d'un carburant à indice de cétane élevé

Le gas-oil utilisé doit avoir un *indice de cétane élevé,* c'est-à-dire qu'il doit s'enflammer facilement et à basse température.

La réduction du volume de combustible soumis à l'auto-allumage

La charge de gas-oil met un certain temps pour s'introduire entièrement dans la chambre de combustion *(délai d'injection).* Plus le délai d'allumage sera court, par rapport à ce délai d'injection, plus la quantité de gas-oil soumise à l'auto-allumage sera petite. La surpression provoquant le cognement en sera réduite d'autant.

L'amélioration de la turbulence à l'admission

La réduction du délai d'allumage peut aussi être obtenue en *améliorant la turbulence* des gaz, grâce à la forme particulière donnée aux chambres de combustion. Nous reviendrons sur cette question, quand nous étudierons en détail les différents types de chambres de combustion.

L'élévation du rapport volumétrique

Le délai d'allumage peut enfin être réduit en adoptant le *rapport volumétrique* ou *taux de compression le plus élevé possible,* car la température atteinte par l'air comprimé dans le cylindre est plus élevée et, par suite, le délai d'allumage se trouve raccourci.

LES CHAMBRES DE COMBUSTION

Les chambres de combustion sont conçues pour jouer un double rôle :

— *Elles doivent améliorer la pulvérisation.* Certaines comportent une partie non refroidie qui constitue un point chaud sur lequel éclate le jet de combustible.

— *Elles doivent assurer un brassage efficace* de l'air et du combustible ; ce qui est obtenu par une étude très soignée de leur forme.

Pour obtenir une combustion régulière et progressive, les constructeurs de moteurs ont étudié des chambres de combustion de formes très variées, qui se composent :

— du *volume libre* compris entre la culasse et le dessus du piston quand il est au P. M. H. *(fig. 1 a)* ;

— d'une *cavité* placée soit dans le piston *(fig. 1 b)*, soit dans la culasse *(fig. 1 c)*, soit dans la partie supérieure du cylindre *(fig. 1 d)*.

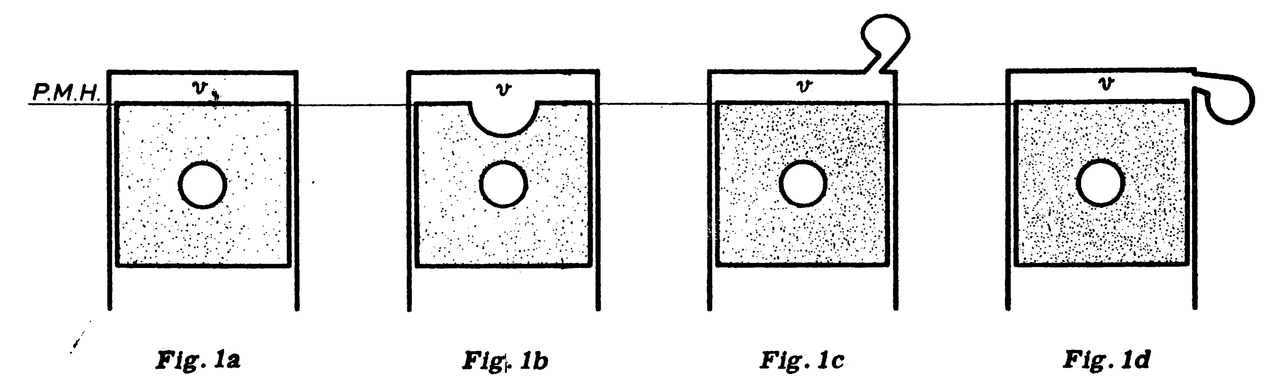


Fig. 1a ***Fig. 1b*** ***Fig. 1c*** ***Fig. 1d***

L'homogénéité du mélange air-combustible obtenu par brassage énergique est appelée **turbulence**. La forme de la chambre de combustion crée une turbulence plus ou moins élevée.

Nous étudierons quatre types de chambre de combustion : chambre de précombustion, chambre de turbulence, chambre à réserve d'air, chambre à injection directe. Nous traiterons aussi le cas particulier du moteur type M.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LES MOTEURS À CHAMBRE DE PRÉCOMBUSTION

LA DESCRIPTION

Dans ces moteurs, la chambre de combustion est constituée en deux parties *(fig. 1)*:

– La *chambre de précombustion* dans laquelle débouche l'injecteur, représente environ le tiers du volume total.

– La *chambre principale* communique avec la chambre de précombustion par plusieurs orifices calibrés placés obliquement. Le piston présente une cavité à sa partie supérieure pour parfaire cette chambre principale.

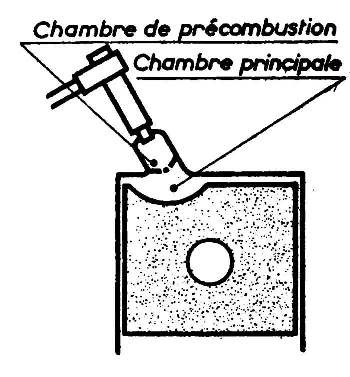


Fig. 1

LE FONCTIONNEMENT

Dans ces moteurs, le taux de compression est de 15 à 17. La montée du piston chasse l'air dans la chambre de précombustion.

L'injection se produit alors sous une pression assez faible *(60 à 120 décanewtons)* qui ne permet pas d'obtenir une pulvérisation plus poussée. La combustion se produit en deux temps :

– Les gouttelettes de gas-oil injectées dans la chambre de précombustion s'enflamment immédiatement. La pression dans cette chambre monte brusquement *(fig. 2a)*.

Nota : Une bougie de préchauffage permet, par son filament rougi électriquement, de réchauffer la préchambre au démarrage (taux de compression insuffisant).

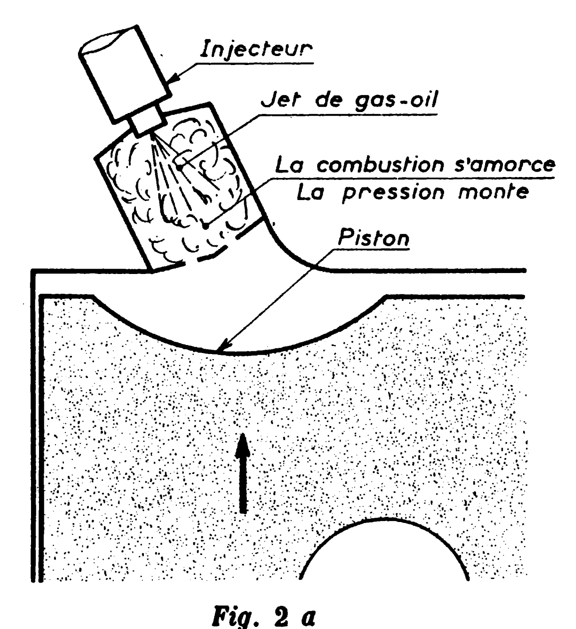


Fig. 2 a

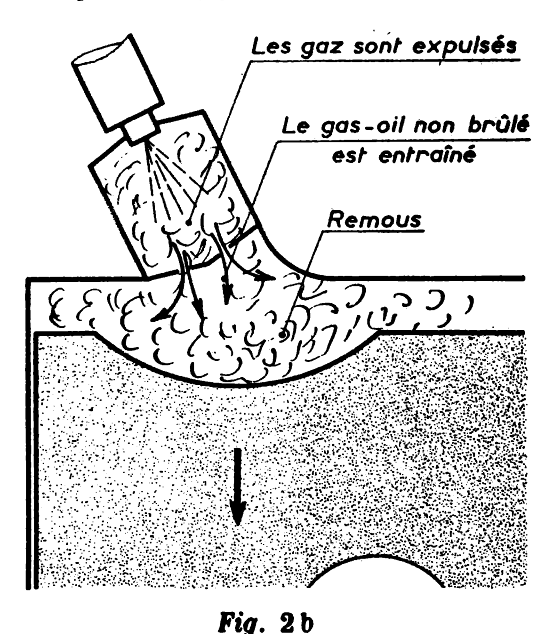


Fig. 2 b

– Les gaz dilatés sont expulsés dans la chambre principale, en entraînant le gas-oil non brûlé *(fig. 2b)*. Le passage dans les orifices de communication provoque des remous qui améliorent le brassage dans la chambre principale et facilitent l'achèvement de la combustion.

<u>*Remarque :*</u>

Lorsque la pression dans la chambre principale devient supérieure à celle de la chambre de précombustion, l'expulsion des gaz dilatés cesse. Elle ne reprend que lorsque la descente du piston a fait baisser la pression dans la chambre principale. Le fonctionnement de la chambre de précombustion n'est donc *pas continu.*

LES MOTEURS À CHAMBRE DE TURBULENCE

LA DESCRIPTION

Dans ces moteurs, la chambre de combustion est constituée en deux parties *(fig. 3)*:

— La *chambre de turbulence* est une cavité sphérique reliée à la chambre principale par un large canal qui y débouche tangentiellement. L'injecteur débite dans cette cavité. Les *figures* 3 a *et* 3 b vous montrent deux dispositions courantes.

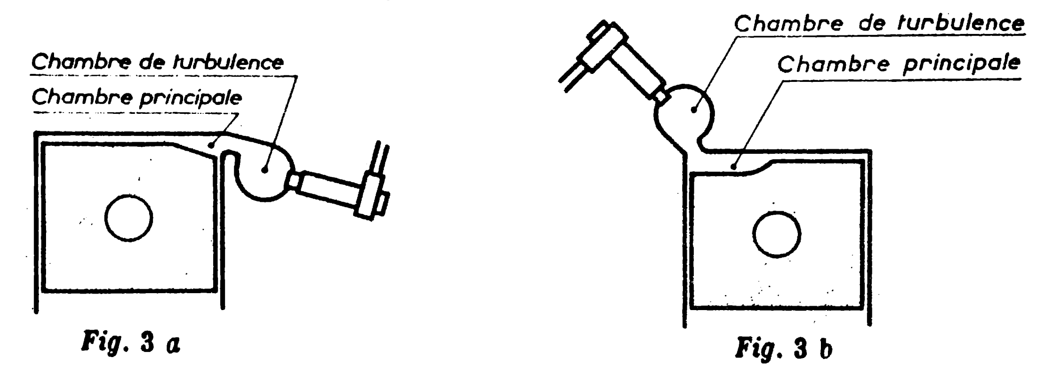


Fig. 3 a

Fig. 3 b

— La *chambre principale* est constituée par l'espace ménagé entre la culasse et le dessus du piston au P.M.H.

LE FONCTIONNEMENT

Pendant sa remontée, le piston chasse l'air de la chambre principale dans la chambre de turbulence où il se met à tourbillonner et où il se réchauffe au contact des parois.

— Quand l'injection se produit, l'air qui défile devant l'injecteur se charge de gas-oil *(fig.4 a)*. La combustion débute. La pression augmente.

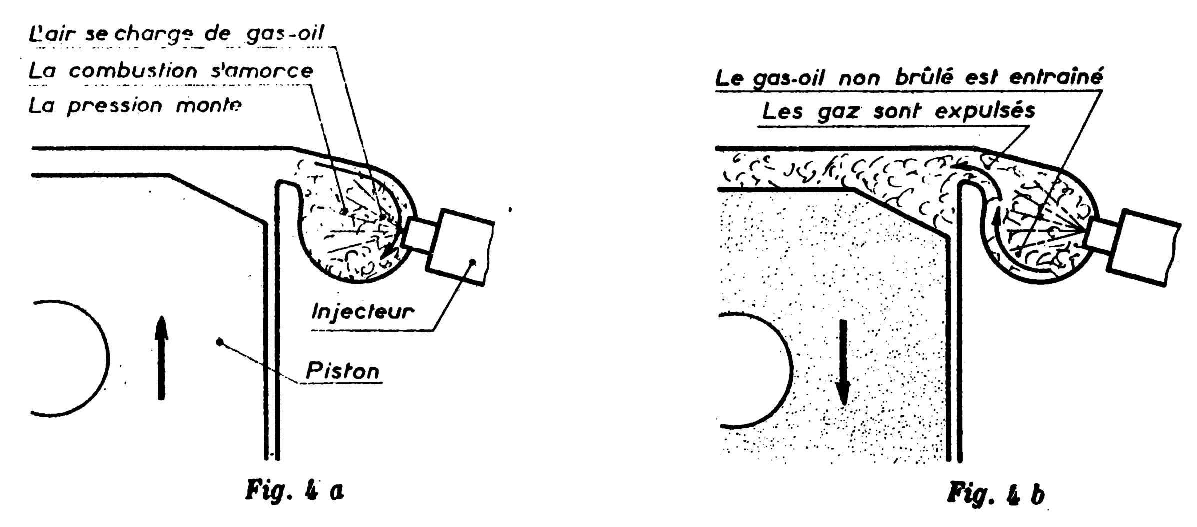


Fig. 4 a

Fig. 4 b

— Les gaz dilatés sont expulsés dans la chambre principale où ils entraînent le gas-oil non brûlé *(fig. 4 b)*. La combustion se poursuit dans la chambre principale.

Remarque :

Il ne faut pas confondre les moteurs à chambre de turbulence et les moteurs à chambre de précombustion dont le fonctionnement est très différent.

— Dans les moteurs à chambre de turbulence, c'est la remontée du piston qui crée la turbulence *avant l'injection*.

— Dans les moteurs à chambre de précombustion, la turbulence est due aux remous provoqués par l'expulsion des gaz dilatés hors de la chambre de précombustion, *après le début de l'injection*.

LES MOTEURS EQUIPES D'UN INJECTEUR A DEUX JETS

Dans certains moteurs à chambre de turbulence, l'injecteur possède deux jets. Nous étudierons le cas du moteur *Perkins.*

— L'*un des jets* est orienté vers le centre de la chambre de turbulence *(fig. 5)*.

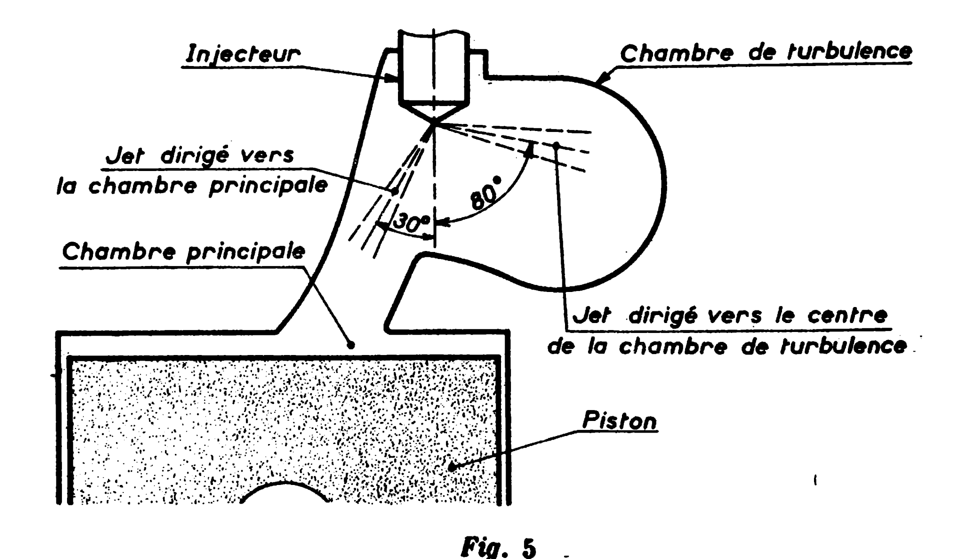


Fig. 5

— L'*autre jet* dirige une partie du gas-oil dans le canal, en direction de la chambre principale.

Ce second jet facilite le démarrage, car l'air de la chambre principale se refroidit moins vite que celui de la chambre de turbulence. Aux environs de 800 tours par minute, le jet est retourné dans la chambre de turbulence par la vitesse de passage de l'air dans le canal.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LES MOTEURS À CHAMBRE DE RÉSERVE D'AIR
(OU À CHAMBRE D'ACCUMULATION)

LA DESCRIPTION

Dans ces moteurs, la chambre de combustion est constituée en deux parties *(fig.1 a et 1 b)* :

— La *chambre de réserve* d'air représente environ les deux tiers du volume total.

— La *chambre principale* communique avec la réserve d'air par un canal en forme de venturi. L'injecteur débouche dans la chambre principale et est orienté de façon qu'une partie du jet soit dirigé dans l'ouverture de la chambre de réserve d'air.

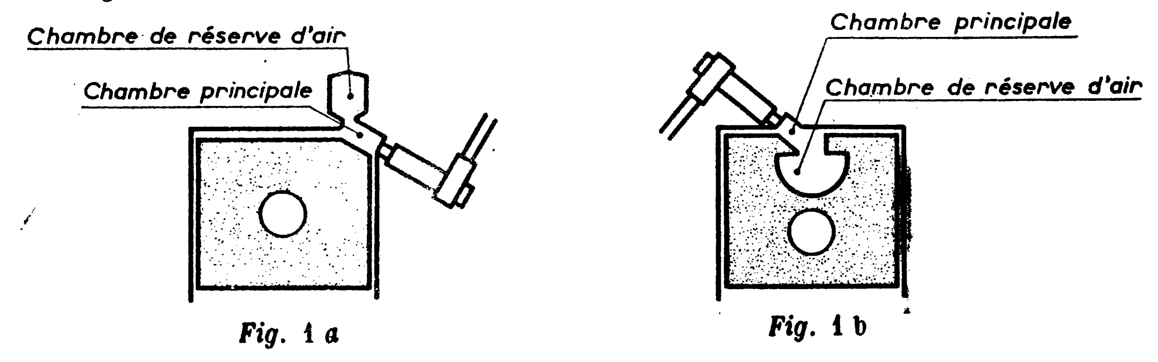


Fig. 1 a *Fig.* 1 b

LE FONCTIONNEMENT

L'injecteur dirige le jet vers le venturi. Comme l'injection débute légèrement avant la fin de la compression, une faible partie du combustible est entraînée, dans la chambre de réserve d'air, par l'air qui est chassé dans cette chambre. La combustion se produit en deux temps.

— La combustion débute dans la chambre principale où le dosage imparfait de l'air et du gas-oil ne permet pas une combustion complète *(fig. 2 a)*. La pression obtenue refoule l'air dans la chambre de réserve d'air et, en même temps, chasse le piston vers le bas, ce qui entraîne une diminution de pression dans la chambre principale.

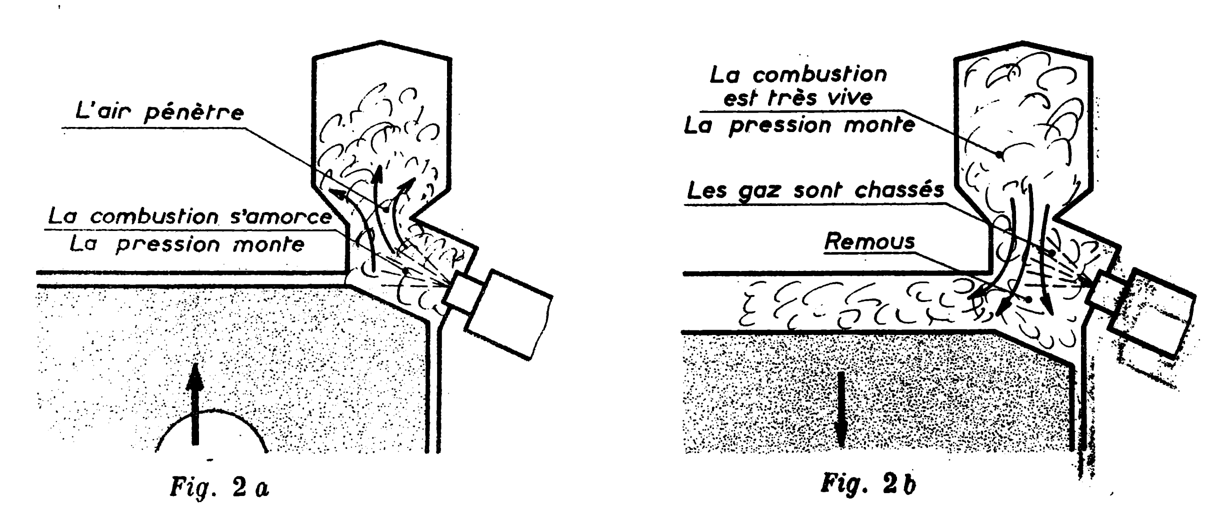


Fig. 2 a *Fig.* 2 b

— La combustion gagne ensuite la chambre de réserve d'air et y est très vive car l'orifice calibré assure un dosage correct. La pression monte dans cette chambre et les gaz dilatés sont chassés dans la chambre principale où ils créent des remous qui améliorent le brassage et permettent à la combustion de s'achever *(fig. 2 b)*.

LE SYSTEME LANOVA

Dans les moteurs *Lanova,* la chambre de réserve d'air est très petite. Elle ne dépasse pas le dixième du volume total *(fig. 3)* et porte le nom de *cellule d'énergie.* La chambre principale est en forme de 8 *(voir la vue de dessous de la culasse).*

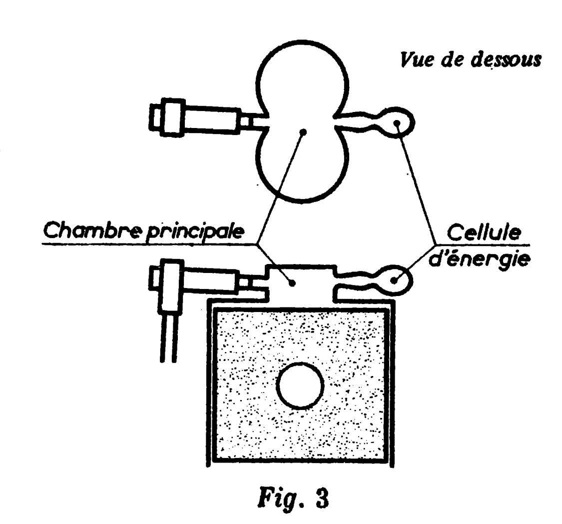


Fig. 3

L'injecteur débouche dans la chambre principale, mais la plus grande partie du gas-oil est injectée dans la cellule d'énergie.

— La combustion commence dans la chambre principale.

— Le gas-oil injecté dans la cellule d'énergie s'enflamme au contact de l'air chaud qu'il y rencontre. L'excès de gas-oil, qui ne peut brûler par manque d'air, est alors chassé dans la chambre principale où se poursuit sa combustion.

LES MOTEURS À CHAMBRE À INJECTION DIRECTE

LA DESCRIPTION

Dans ces moteurs, la chambre de combustion est creusée dans le piston *(fig. 4a, 4b et 4c)* et ne présente aucun étranglement (forme spéciale).

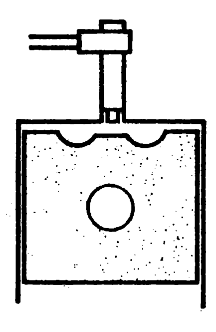
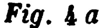



Fig. 4 a

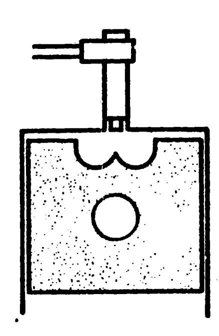


Fig. 4 b

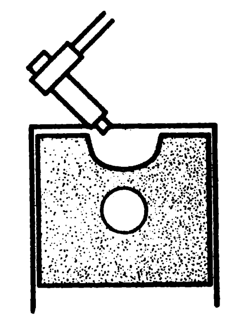


Fig. 4 c

L'espace entre le piston au P.M.H. et la culasse est réduit au minimum, d'où le taux de compression élevé de ces moteurs *(16 à 20* ou plus).

L'injecteur à plusieurs jets débouche directement dans cette chambre et la pression d'injection est importante *(150 à 250 décanewtons).*

LE FONCTIONNEMENT

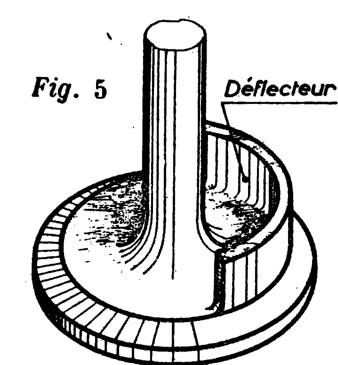
Pendant sa remontée, le piston comprime très fortement l'air qui se met à tourbillonner dans la chambre de combustion. En raison du fort taux de compression, la température atteinte par l'air comprimé est très élevée.

La combustion du gas-oil, directement injecté dans la chambre de combustion, débute puis se continue dans toute la masse d'air. La forte pression d'injection assure un bon mélange du gas-oil à l'air.

Le jet est dirigé sur le fond de la chambre qui s'échauffe pendant la marche et fait éclater les gouttes mal pulvérisées.

Dans certains modèles, le tourbillonnement est obtenu par une soupape d'admission à déflecteur *(fig. 5).* Il peut aussi être amélioré par une étude poussée des formes données à la chambre ou à la canalisation d'admission.

Fig. 5



LES MOTEURS TYPE M

LA DESCRIPTION

Dans le moteur M, la chambre de combustion creusée dans le piston est sphérique et largement ouverte *(fig. 6)*.

Le porte-injecteur est incliné par rapport à l'axe du cylindre.

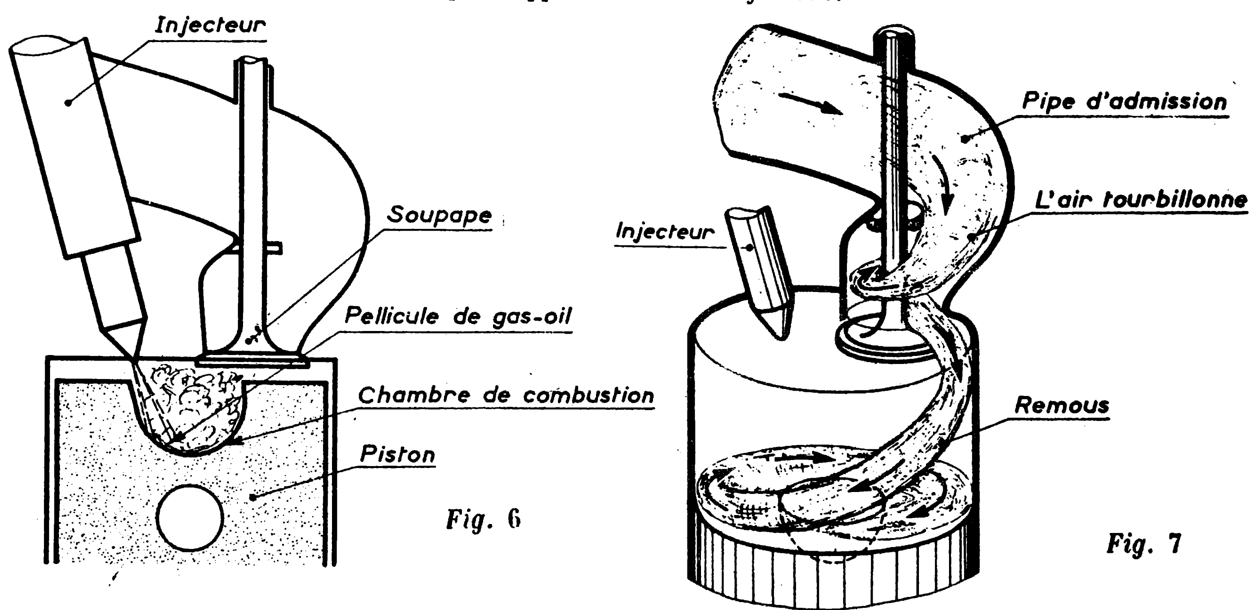


Fig. 6

Fig. 7

La pipe d'admission se termine en volute à l'entrée dans le cylindre ; ce qui entraîne l'air dans un mouvement tourbillonnant très intense *(fig. 7)*.

LE FONCTIONNEMENT

Le jet de gas-oil n'est pas dirigé vers le centre de la chambre, mais tangentiellement à la paroi sur laquelle le gas-oil s'étale en fine pellicule. La combustion se produit en deux temps.

— La combustion est amorcée par le brouillard qui entoure le jet. Le cognement est éliminé, car ce début de combustion n'intéresse qu'une très faible quantité de gas-oil.

— La pellicule de gas-oil étalée sur la paroi s'évapore ensuite lentement. Les vapeurs happées par le tourbillon, brûlent alors progressivement.

Le moteur M ne cogne pas, ce qui soulage la mécanique et en prolonge la durée.

La combustion ne s'effectue qu'au fur et à mesure de l'évaporation du gas-oil ; elle dure donc plus longtemps que dans un Diesel classique. Le fonctionnement est plus souple. Les reprises sont meilleures.

A cylindrée égale, le moteur M est plus puissant et consomme moins qu'un Diesel ordinaire.

LE MOTEUR BERLIET MK POLYCARBURANT

Le moteur M livré à la clientèle est prévu pour fonctionner essentiellement au gas-oil. Cependant la version MK de ce moteur peut utiliser tous les combustibles, y compris l'essence, moyennant quelques aménagements.

— La pompe d'injection doit être munie d'un dispositif de graissage, puisque l'essence ne possède pas les propriétés lubrifiantes du gas-oil.

— La quantité d'essence injectée doit être supérieure de 10 à 14 % au débit du gas-oil. Il en résulte que le débit de la pompe d'injection doit pouvoir être réglé sur deux positions : une pour l'injection d'essence, une pour l'injection de gas-oil.

– Pour éviter la formation de vapeur d'essence dans les canalisations, il faut maintenir la pression d'alimentation à 1,2 décanewton environ. La pompe d'alimentation entraînée par le moteur assure cette pression, ainsi qu'un balayage du circuit. L'essence, en traversant la pompe d'injection, absorbe les calories qu'elle évacue vers le réservoir. Une *pompe électrique*, placée dans le réservoir, débite sur la pompe d'alimentation, et permet l'évacuation des vapeurs d'essence. Cette pompe ne fonctionne que sur commande du conducteur.

Toutes les leçons doivent être conservées.

L'ALIMENTATION EN COMBUSTIBLE

LE CIRCUIT DE COMBUSTIBLE

La *figure* 1 présente très schématiquement le circuit parcouru par le gas-oil dans un moteur Diesel. En suivant les flèches, vous pouvez reconnaître successivement les organes énumérés ci-dessous.

— Le ***réservoir*** est souvent muni d'un *tamis* qui arrête les plus grosses impuretés du combustible. Le bouchon comporte un trou de mise à l'air libre.

— La *pompe d'alimentation* aspire le combustible dans le réservoir, à travers une crépine. Elle est protégée par un *préfiltre.*

— Le *filtre* complète le nettoyage du gas-oil qui est refoulé par la pompe d'alimentation. La pression fournie par cette pompe est limitée par le *clapet de décharge* placé dans le filtre.

— La *pompe d'injection* distribue sous une forte pression, au moment voulu, le combustible vers les cylindres. Dans certains cas, un clapet de balayage, taré plus faible que celui du filtre, permet une circulation du combustible qui assure le refroidissement de la pompe.

— L'*injecteur* pulvérise très finement le gas-oil dans la chambre de combustion.

— Les *canalisations de retour* relient la pompe, le filtre, les injecteurs au réservoir. Elles assurent l'évacuation de l'excès de débit ou la récupération des fuites.

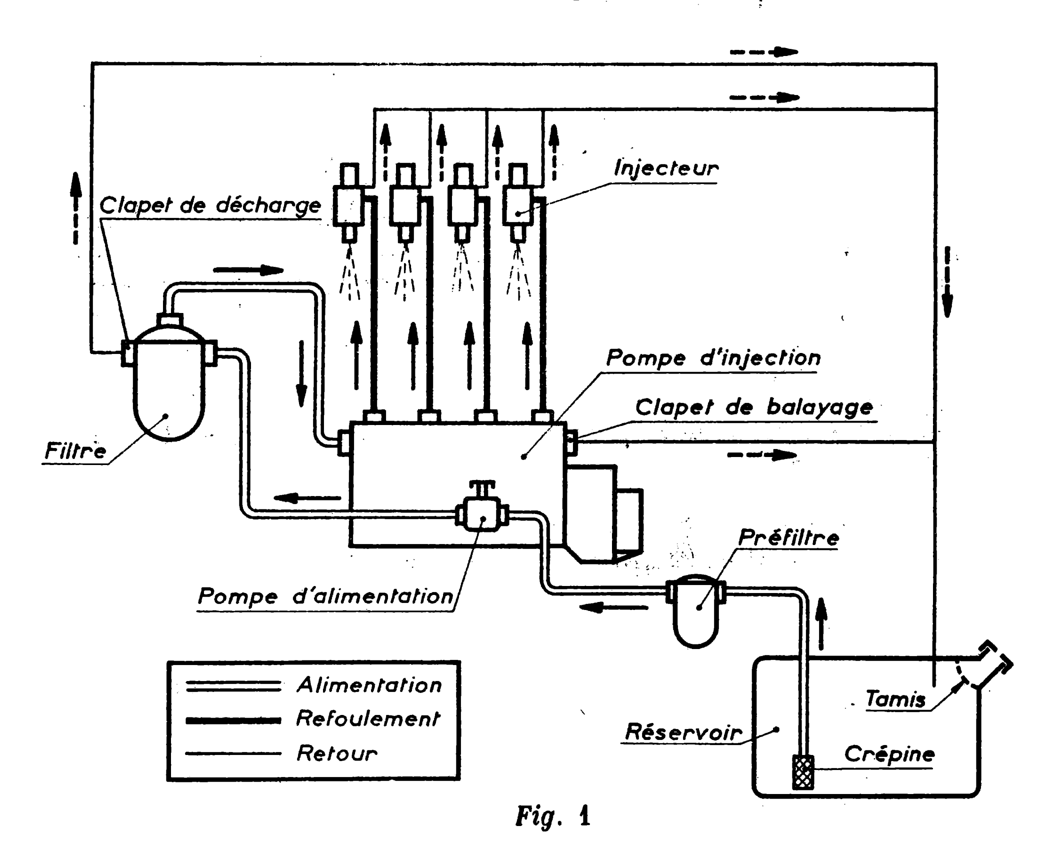


Fig. 1

LE ROLE DES CLAPETS ET DES VIS DE PURGE

Avant d'étudier en détail le circuit de combustible, nous allons vous rappeler le principe de fonctionnement des clapets et des vis de purge que l'on trouve en plus ou moins grand nombre sur les circuits.

Le rôle des clapets

Un clapet est un obturateur à bille, à rondelle ou à soupape maintenu en place par un ressort. Placé sur une canalisation, un clapet peut jouer deux rôles distincts :

— *Il peut limiter une pression :* Dans ce cas *(fig. 2 et 3)*, le clapet maintenu sur son siège par un ressort taré, ne s'ouvre que lorsque la valeur de la pression devient supérieure à celle exercée par le ressort.

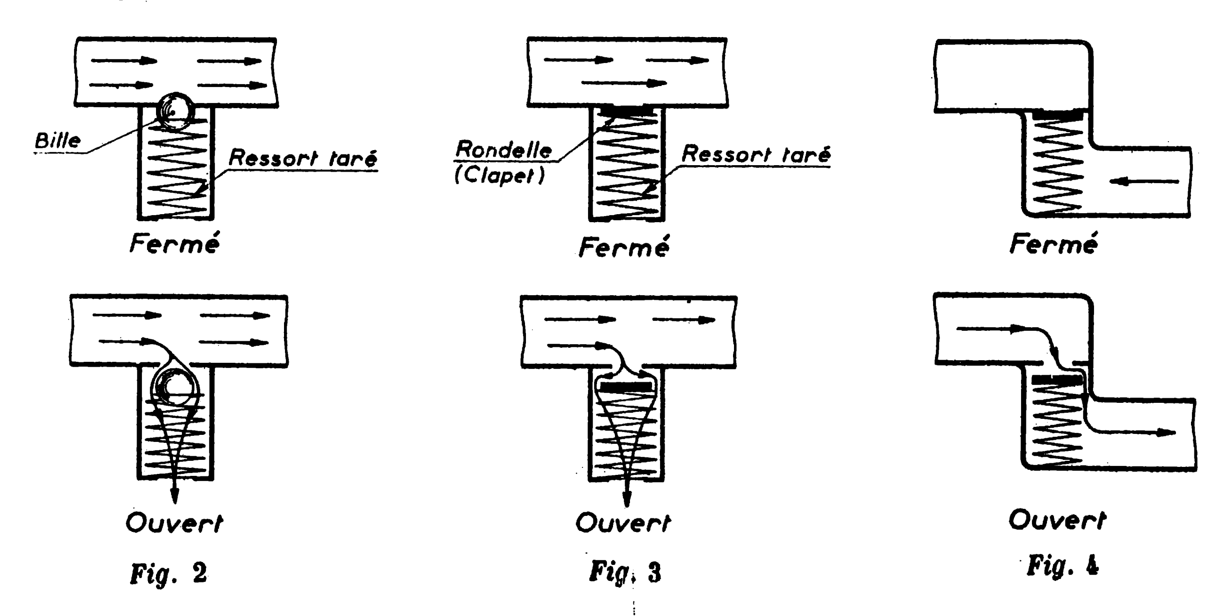


Fig. 2 *Fig.* 3 *Fig.* 4

— *Il peut empêcher le retour d'un fluide* (air ou liquide) dans une canalisation : Dans ce cas *(fig. 4)*, c'est un clapet ou valve de retenue.

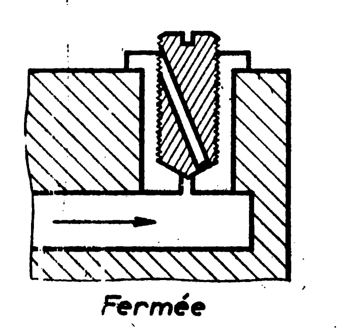
Le rôle des vis de purge

Les vis de purge *(fig. 5)* permettent d'éliminer l'air contenu dans le circuit d'alimentation à la suite d'un désamorçage ou d'un nettoyage du filtre.

La purge s'effectue à l'aide de la pompe d'amorçage, dans l'ordre suivant:

a) les filtres,

b) la pompe d'injection.



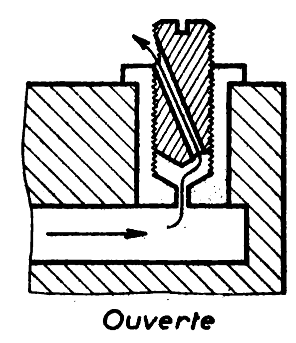


Fig. 5

Elle doit être poursuivie jusqu'à l'élimination complète des bulles d'air mélangées au gas-oil s'échappant par ces vis.

<u>Remarque</u> :

Si les filtres ne comportent pas de vis de purge, il faut desserrer le raccord de sortie du gas-oil.

LA POMPE D'ALIMENTATION

LA DESCRIPTION

La pompe d'alimentation la plus couramment utilisée est la pompe à piston *(fig. 6)* qui comprend deux parties essentielles :

— Le *corps de pompe* cylindrique est fixé sur le carter de la pompe d'injection. Il est relié à une *tubulure d'admission* A et à une *tubulure de refoulement* R, par l'intermédiaire de deux *clapets.*

— Le *piston* se déplace à l'intérieur du corps de pompe. Il est repoussé par un *ressort* et mis en mouvement par un *poussoir* commandé par une *came* fixée sur l'arbre à cames de la pompe d'injection.

Remarque :

Une pompe à main utilisant le même circuit est montée sur le corps. Elle sert à l'amorçage et à la purge de l'alimentation.

LE FONCTIONNEMENT

La pompe d'alimentation est à double effet, c'est-à-dire que le piston travaille sur ses deux faces.

La descente du piston

C'est le ressort qui oblige le piston à descendre dans le corps de pompe *(fig. 6 a).*

— *Au-dessus du piston,* il se crée une *dépression.* Le clapet d'admission s'ouvre ; le gas-oil est aspiré dans la partie supérieure du corps de pompe.

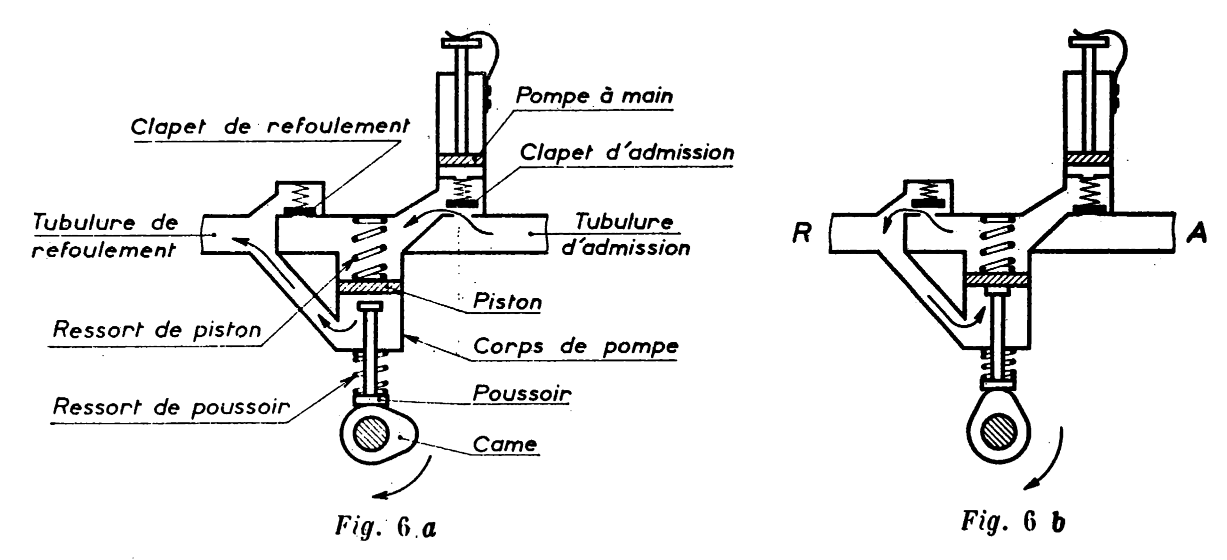


Fig. 6 *a* *Fig.* 6 *b*

— *Au-dessous du piston,* il se crée une *surpression.* Le gas-oil, précédemment emmagasiné dans la partie inférieure du corps de pompe, est refoulé vers les filtres et la pompe d'injection.

La montée du piston

C'est le poussoir commandé par la came qui oblige le piston à remonter *(fig. 6 b).*

— *Au-dessus du piston,* il se crée une *surpression.* Le clapet d'admission se ferme sous l'action du ressort. Le gas-oil ouvre le clapet de refoulement par lequel il s'échappe.

— *Au-dessous du piston,* il se crée une *dépression.* Le gas-oil qui vient de franchir le clapet de refoulement, est aspiré dans la partie inférieure du corps de pompe.

Lorsque le débit de la pompe est supérieur à la consommation du moteur, le gas-oil, contenu dans les tuyauteries de refoulement, exerce une pression sous le piston et s'oppose à l'action du ressort. Le piston reste en équilibre. La pompe ne fonctionne plus.

Dès qu'une certaine quantité de gas-oil est consommée, la pression dans les canalisations de refoulement diminue ; le ressort peut repousser le piston, ce qui provoque une nouvelle aspiration. On dit que la pompe est *auto-régulatrice.*

Remarques :

1° Nous avons vu que sur le circuit de refoulement, sont disposés un ou deux clapets qui limitent la pression. La pompe n'est auto-régulatrice que si ces clapets ne fonctionnent plus.

2° Certaines pompes d'alimentation sont des pompes à membrane dont le fonctionnement est identique à celui des pompes utilisées sur les moteurs à essence.

Toutes les leçons doivent être conservées.

L'ALIMENTATION EN COMBUSTIBLE (suite)

LES FILTRES À COMBUSTIBLE

La pompe d'injection et les injecteurs, usinés avec une précision de l'ordre du micron, sont des organes délicats qui risquent d'être détériorés par les impuretés contenues dans le combustible *(rayures, grippages)*. Pour éliminer ces impuretés, on place sur le circuit d'alimentation et d'injection, les filtres suivants :

— ***un tamis*** disposé à l'entrée du réservoir,
— ***une crépine*** fixée en bout du tube plongeur,
— ***un préfiltre*** monté avant la pompe d'alimentation,
— ***un ou deux filtres*** placés entre la pompe d'alimentation et la pompe d'injection,
— ***un filtre-tige*** placé dans la tubulure d'entrée de chaque injecteur.

Le tamis et la crépine du réservoir ne demandant pas d'explications complémentaires, nous décrirons seulement un exemple de chacun des trois autres types de filtres.

LES PREFILTRES

Placés avant la pompe d'alimentation, les préfiltres *(fig. 1)* en protègent les clapets et surtout le piston. Ils sont constitués par un élément filtrant en toile métallique à mailles fines ou en toile de nylon dont le rôle est d'arrêter les grosses impuretés et les gouttes d'eau qui, plus lourdes que le combustible, tombent au fond de la cuve de décantation.

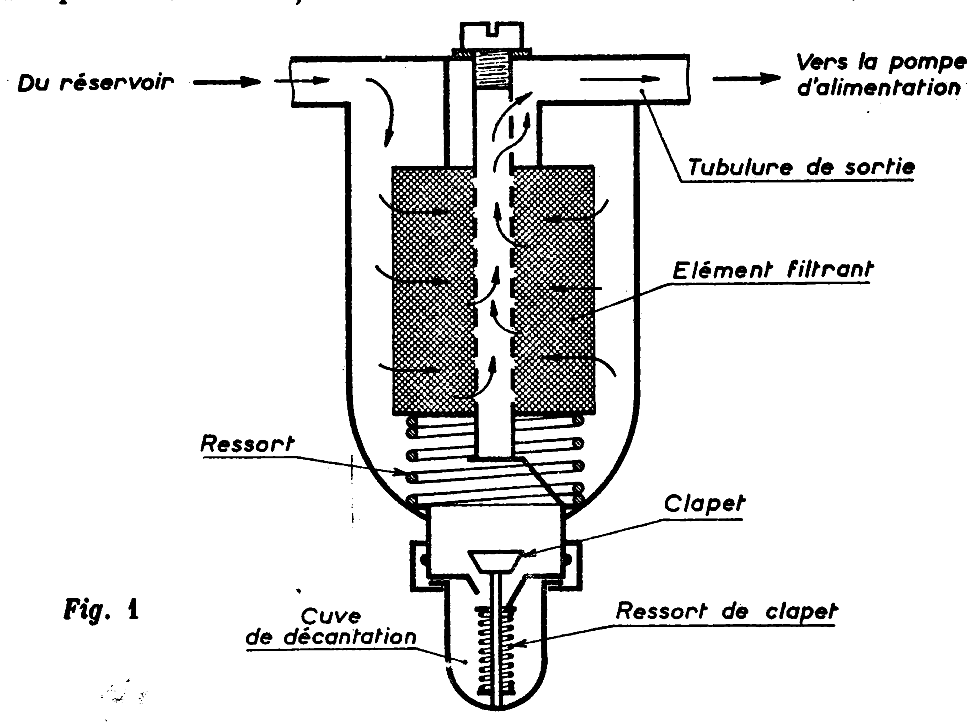


Fig. 1

Le ressort placé sous l'élément filtrant a pour rôle d'assurer l'étanchéité en haut de la cuve. Le gas-oil est ainsi obligé de traverser l'élément, de l'extérieur vers l'intérieur, pour gagner la tubulure de sortie.

Le ressort de clapet assure la fermeture du clapet quand on démonte la cuve de décantation pour la nettoyer.

Les éléments filtrants de ces préfiltres peuvent être lavés au gas-oil ou à l'essence, puis séchés à l'air sous pression.

LES FILTRES

Les filtres *(fig. 2)*, placés entre la pompe d'alimentation et la pompe d'injection, doivent pouvoir arrêter des impuretés très fines, de l'ordre de quelques millièmes de millimètre *(micron)*. L'élément filtrant prend le nom de cartouche et est constitué par des matériaux à texture très serrée : feutre, papier spécial entouré d'une toile, cellulose, etc...

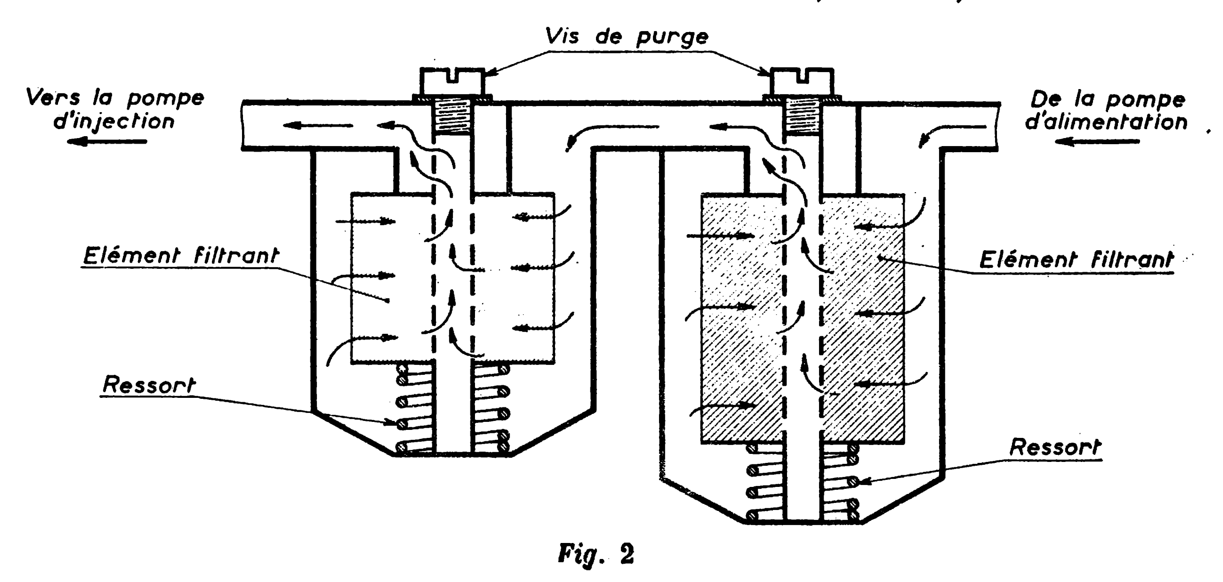


Fig. 2

Les cartouches constituées par ces matériaux spéciaux ne peuvent pas être régénérées par lavage. Il est indispensable de les changer quand elles sont sales, en respectant les indications du constructeur.

LES FILTRES-TIGES

Le filtrage est complété par l'interposition de filtres d'injecteurs constitués par une tige placée dans la tubulure d'entrée de chaque porte-injecteur. Sur la tige sont usinées quatre rainures, dans le sens de la longueur *(fig. 3)*.

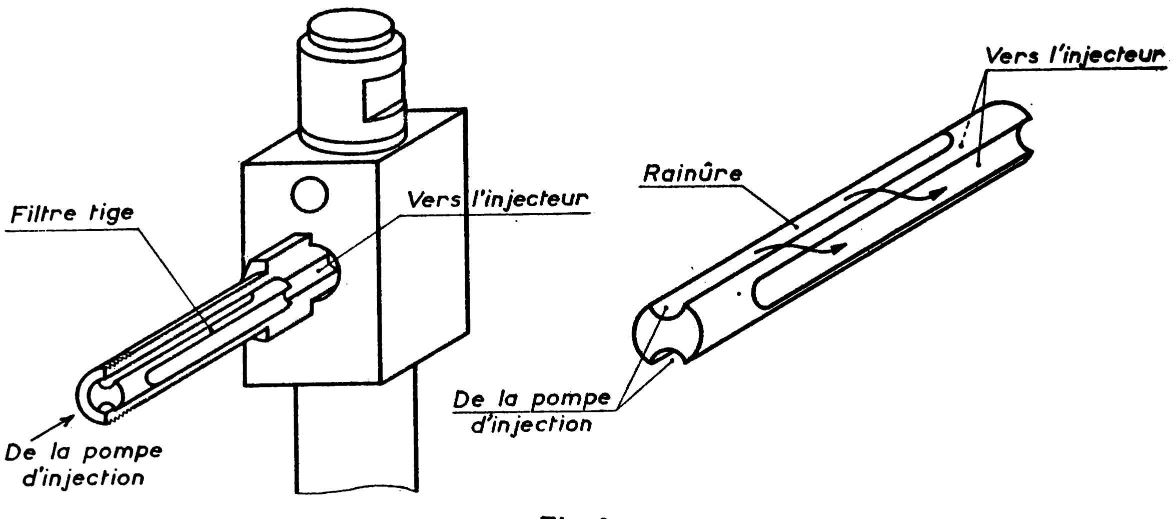


Fig. 3

Deux rainures opposées communiquent avec la tubulure venant de la pompe d'injection, les deux autres avec l'injecteur.

Seul, le combustible peut passer d'une rainure à l'autre par l'espace très réduit qui existe entre la tige et la tubulure ; les impuretés restent bloquées et se déposent dans les rainures.

Remarque :

Sur certains modèles, la tige est filetée et emboîtée, cote pour cote, dans l'alésage. Le gas-oil doit suivre le filetage pour pénétrer à l'intérieur du corps de l'injecteur.

L'ALIMENTATION EN AIR

Compte tenu de leur cylindrée, les moteurs Diesel admettent un volume d'air important qui, comme le combustible, doit être filtré très soigneusement à l'aide de préfiltres et de filtres.

LES PRÉFILTRES

Les préfiltres ont pour rôle d'arrêter les plus grosses impuretés contenues dans l'air :

— soit par des chicanes placées sur le passage de l'air ; les impuretés se déposent alors au fond du préfiltre ;

— soit en donnant à l'air un mouvement tourbillonnaire ; les impuretés sont alors expulsées dans un bol.

LES FILTRES

Les filtres complètent la purification de l'air commencée dans les préfiltres. Les éléments filtrants des filtres à secs sont en toile métallique, en papier, en nylon.

On utilise aussi des filtres à léchage d'huile analogues à ceux utilisés sur les moteurs à essence. Les poussières viennent alors se déposer dans l'huile.

L'ENTRETIEN

L'entretien des préfiltres et des filtres doit être fait périodiquement, suivant les indications du constructeur.

— La suppression d'un filtre provoque une usure prématurée de tous les organes du moteur.

— Le colmatage d'un filtre freine l'entrée de l'air dans le cylindre, ce qui entraîne une combustion incomplète *(fumées noires)* et un encrassement accéléré du moteur.

Toutes les leçons doivent être conservées.

L'ALIMENTATION EN COMBUSTIBLE (suite)

LA POMPE D'INJECTION EN LIGNE

La pompe d'injection a pour rôle de distribuer le combustible aux injecteurs, en respectant certaines conditions :

– La quantité de gas-oil injectée à chaque coup de pompe doit pouvoir varier avec la charge du moteur et au gré du chauffeur. Elle doit être rigoureusement la même pour chaque cylindre.

– L'injection doit avoir lieu à un moment bien précis, en fin de compression, un peu avant le P.M.H. Ce moment précis est fixé par le constructeur.

– L'ordre d'injection dans les cylindres doit correspondre à l'ordre d'allumage; par exemple :

1 - 3 - 4 - 2 pour un moteur à *quatre* cylindres.
1 - 2 - 4 - 5 - 3 pour un moteur à *cinq* cylindres.
1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4 pour un moteur à *six* cylindres.

etc.

(VOIR AU VERSO)

LA DESCRIPTION

La pompe d'injection comporte autant d'éléments que de cylindres moteurs à alimenter, situés dans le corps de pompe *(fig.1)*. Chaque élément est constitué par un cylindre et un piston.

Le cylindre (ou chemise)

Chaque cylindre de la pompe d'injection est en communication :

— avec les tubulures d'admission, par les lumières d'admission,
— avec la tubulure de refoulement, et par suite avec l'injecteur, par un clapet maintenu sur son siège par un ressort taré.

Le piston

Chaque piston est ajusté dans son cylindre avec une précision de l'ordre de quelques microns. Il a une forme particulière qu'il importe de bien étudier.

— *Dans sa partie supérieure,* le piston comporte un dégagement circulaire qui communique avec le sommet du piston par une rampe hélicoïdale et une raînure verticale *(fig. 2)*.

— *Dans sa partie inférieure,* le piston porte un doigt d'entraînement ou entraîneur qui s'engage dans le manchon d'entraînement *(fig. 1 et 2 a)* sur lequel est fixée une couronne dentée qui engrène avec une crémaillère. En agissant sur cette crémaillère, on peut faire tourner le piston d'un certain angle sur son axe vertical.

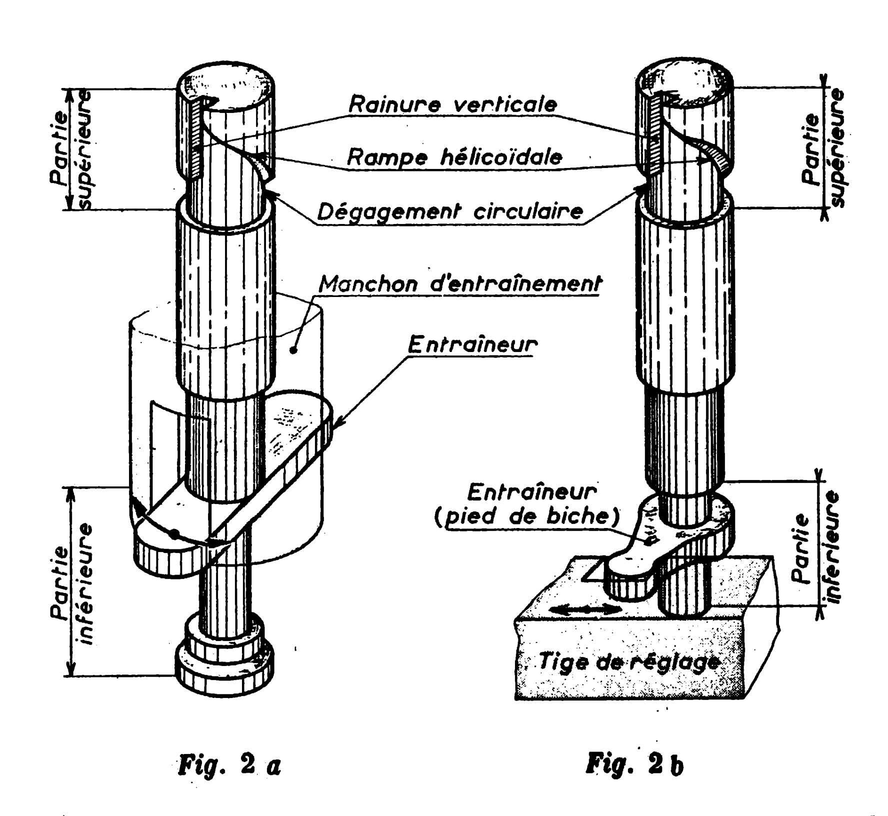
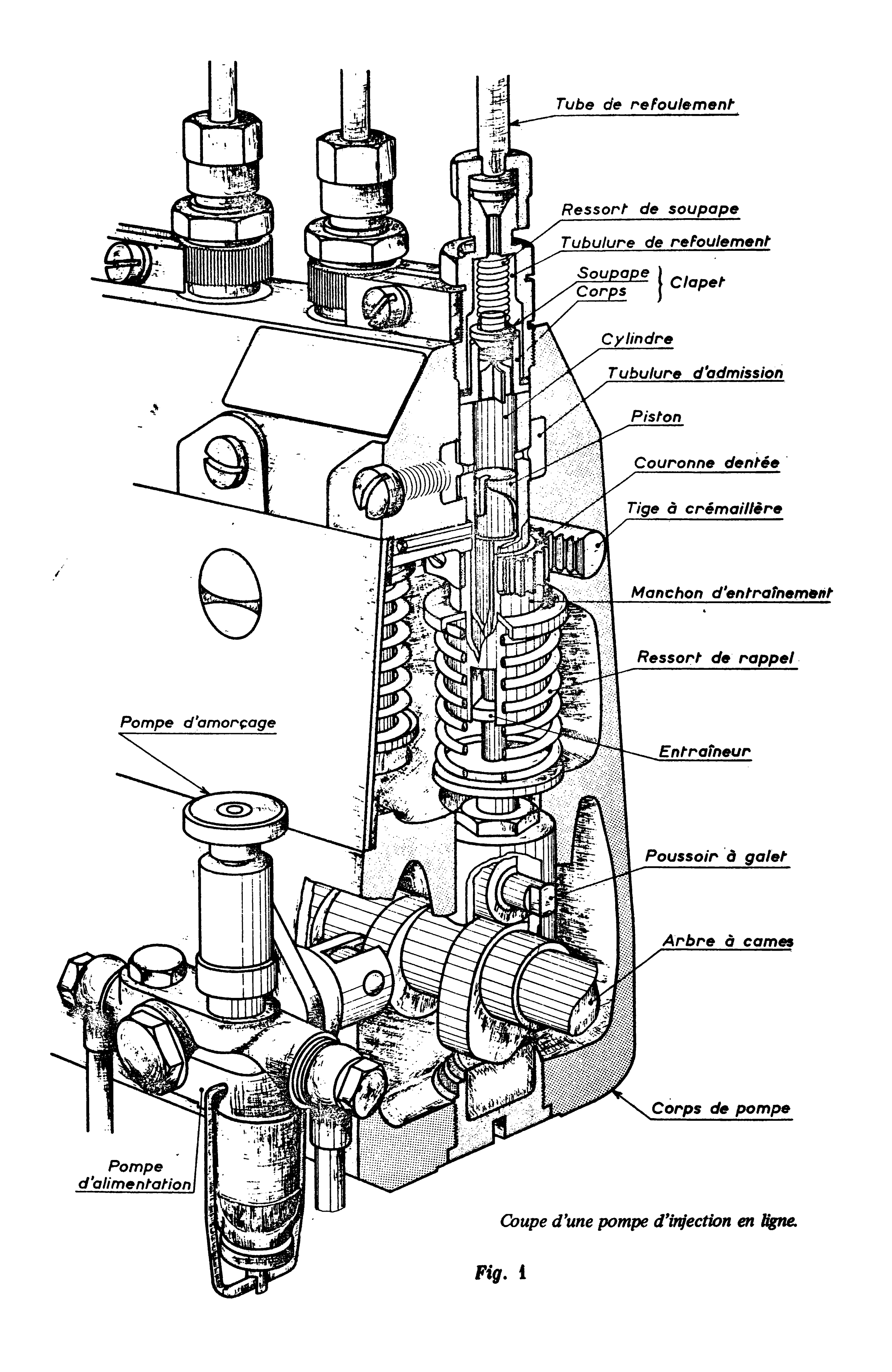


Fig. 2 a *Fig. 2 b*

Sur certains types de pompes, la crémaillère est remplacée par une tige de réglage qui comporte des encoches dans lesquelles viennent s'encastrer les entraîneurs *(pieds de biche)* de chaque piston *(fig. 2 b)*.



Coupe d'une pompe d'injection en ligne.

Fig. 1

Toutes les leçons doivent être conservées.

L'ALIMENTATION EN COMBUSTIBLE (suite)

LA POMPE D'INJECTION EN LIGNE (suite)

LE FONCTIONNEMENT

Le piston est animé d'un mouvement de va-et-vient dans le cylindre.

— *La descente du piston* est commandée par un ressort de rappel qui entre en action lorsque la came est dégagée.

— *La montée du piston* est assurée par la came qui agit sur un poussoir.

La descente du piston

La descente du piston dans le cylindre crée une dépression qui, lorsque les lumières d'admission sont dégagées, permet le remplissage du cylindre *(fig. 1)*.

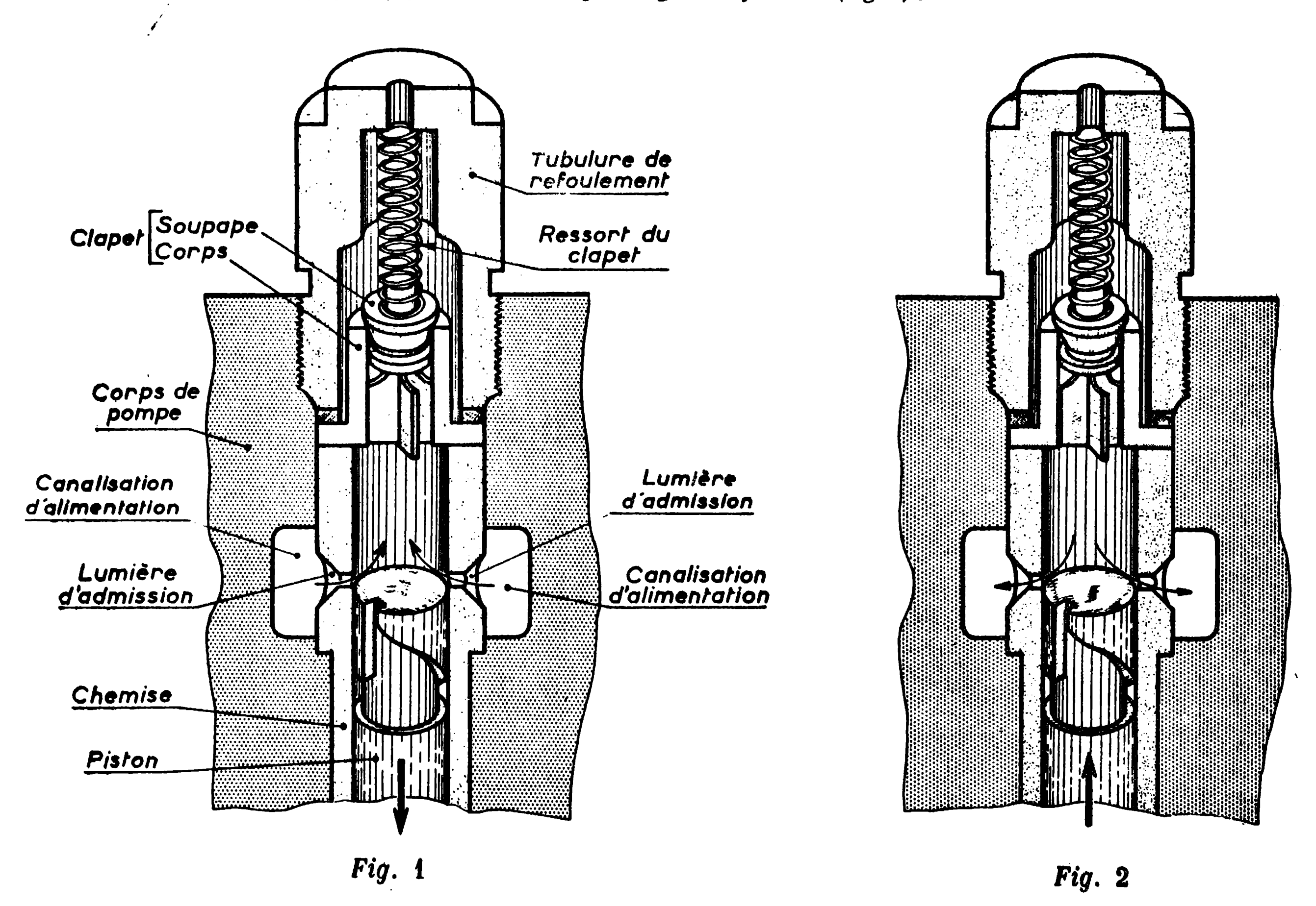


Fig. 1

Fig. 2

La montée du piston

La montée du piston assure le débit de la pompe, mais il y a lieu de distinguer trois phases dans le mouvement de remontée :

— *Première phase* : Au début de la remontée, les lumières d'admission ne sont pas encore bouchées et le gas-oil est refoulé dans les canalisations d'alimentation *(fig. 2)*.

— Si la rainure verticale est située en face de la lumière d'admission, l'intérieur du cylindre et la canalisation d'alimentation communiquent : il n'y a pas d'injection *(fig. 6)* ; le débit est nul.

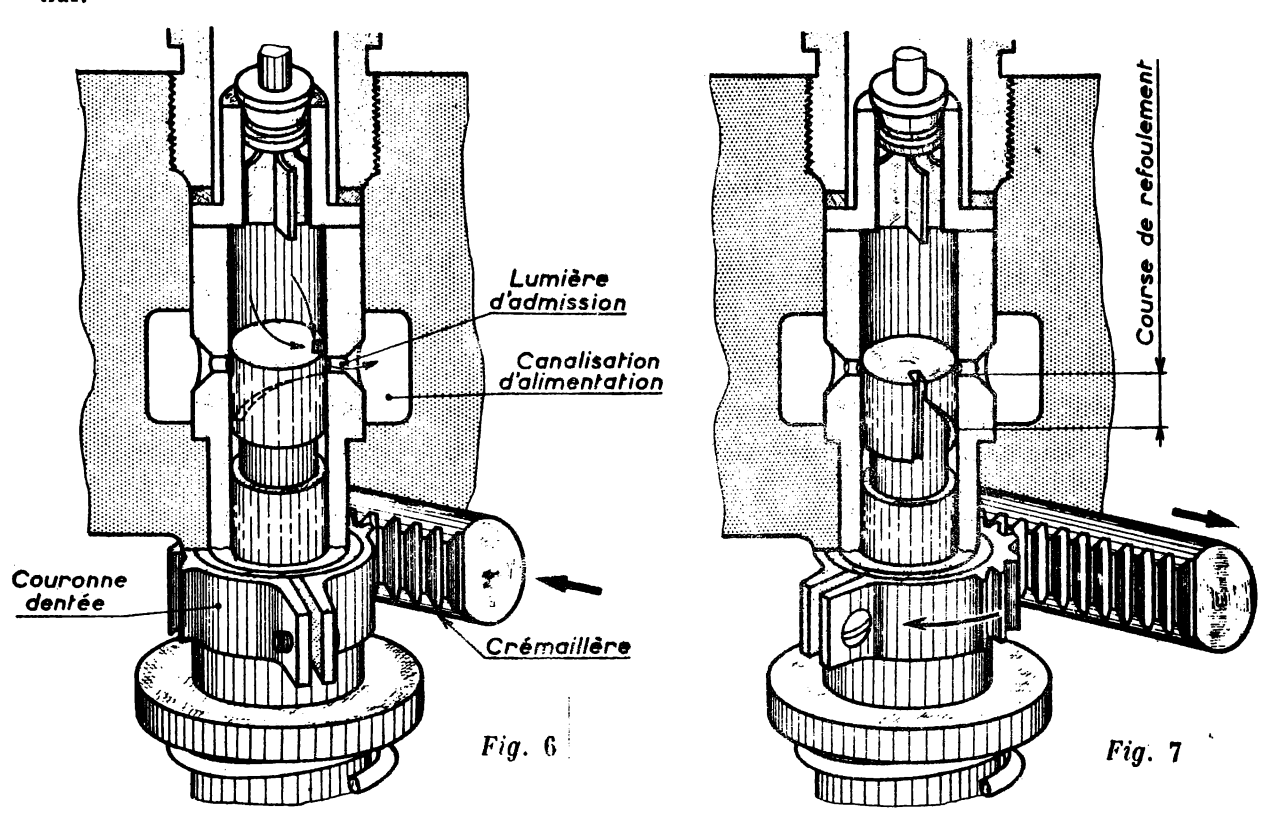


Fig. 6

Fig. 7

— Si la rainure verticale ne se trouve plus en face de la lumière d'admission, il y a injection *(fig. 7)*.

Le *début de l'injection* a toujours lieu au même moment, car le dessus du piston est plat.

La *fin de l'injection* dépend de la position de la rampe.

La *quantité de gas-oil* injectée dépend de la longueur de la course effectuée par le piston entre la fermeture de la lumière d'admission et le dégagement de cette lumière par la rampe hélicoïdale.

En agissant sur la tige de réglage, on peut obtenir des courses de refoulement plus ou moins longues, correspondant à :

— un débit nul *(fig. 6)*,
— un débit partiel *(fig. 7)*,
— un débit maximum *(fig. 8)*.

Remarques :

1° Le clapet de refoulement, ramené sur son siège par un ressort, maintient dans la canalisation de refoulement une pression dite *résiduelle* qui permet une montée en pression plus rapide et assure une ouverture et une fermeture plus franches de l'injecteur.

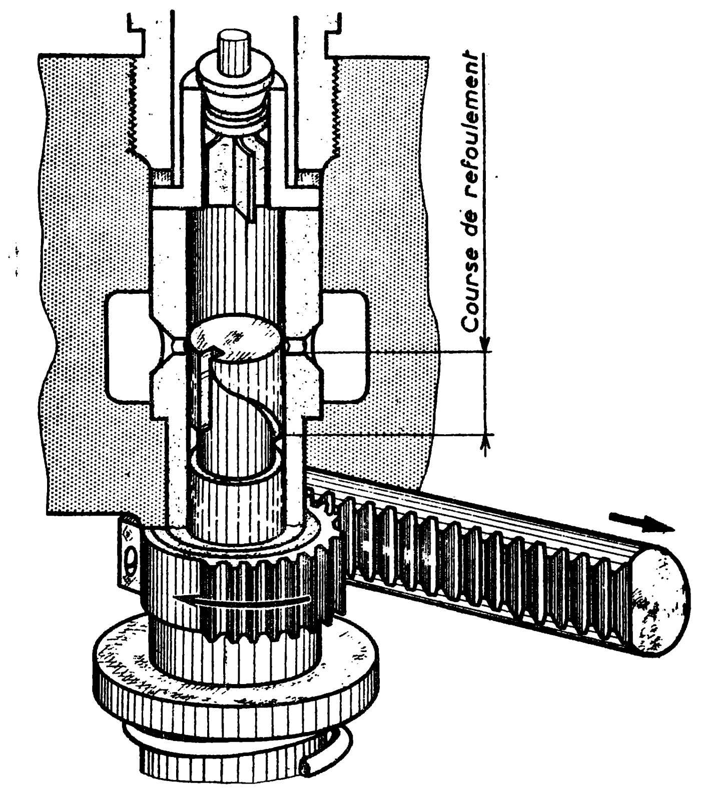
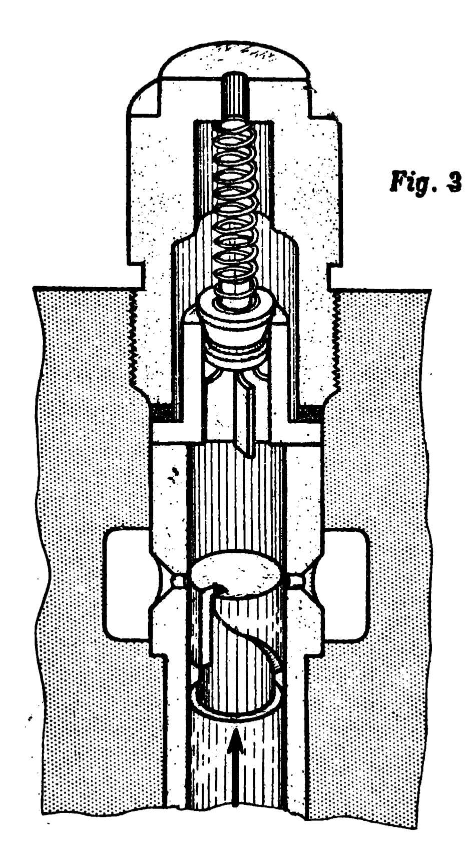


Fig. 8

— *Deuxième phase*: Lorsque la partie supérieure du piston vient masquer les lumières d'admission, le refoulement du gas-oil est interrompu dans les canalisations d'alimentation *(fig. 3)*.


Fig. 3

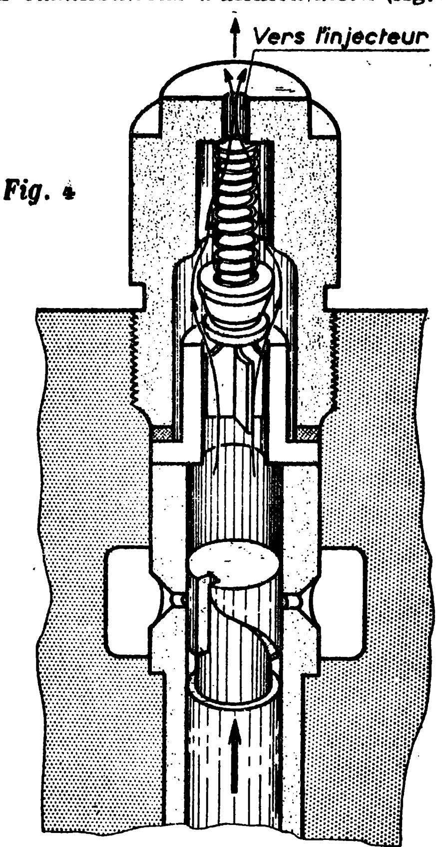
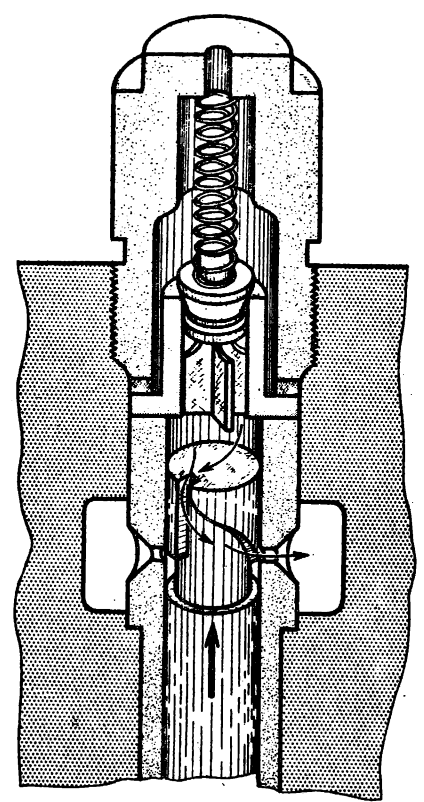


Fig. 4

Puis, le gas-oil comprimé soulève le clapet *(fig. 4)* et est conduit vers l'injecteur et la chambre de combustion.

— *Troisième phase*: Dès que la rampe hélicoïdale démasque l'une des lumières d'admission, elle met en communication, par la rainure verticale, la partie du cylindre située au-dessus du piston et la canalisation d'alimentation, ce qui entraîne une baisse immédiate de la pression à l'intérieur du cylindre *(fig. 5)*.

Le clapet est rappelé sur son siège, sous l'action conjuguée du ressort et de la pression régnant dans la tubulure de refoulement.


Fig. 5

LE REGLAGE DU DEBIT

Dans le moteur à essence, les variations de régime et de puissance sont obtenues en modifiant la quantité de mélange *(air et essence)* admise dans le cylindre.

Dans le moteur Diesel, les variations de régime sont obtenues en agissant uniquement sur la quantité de gas-oil injectée dans le cylindre, c'est-à-dire en modifiant la durée de l'injection.

La fin de l'injection dépend de la position de la rampe hélicoïdale par rapport à la lumière d'admission.

Cette position peut être modifiée en faisant tourner le piston à l'aide d'une tige de réglage ou d'une crémaillère qui engrène sur la couronne dentée fixée sur le manchon d'entraînement.

La tige ou la crémaillère sont commandées par la pédale de l'accélérateur ou automatiquement par le régulateur.

2° La tige de réglage ou la crémaillère, commandent simultanément les pistons de tous les éléments de la pompe d'injection.

3° Pour obtenir une étanchéité satisfaisante aux pressions élevées de refoulement, il est nécessaire que le cylindre, le piston, la soupape soient usinés avec une grande précision. Il en résulte qu'il ne faut, *en aucun cas,* mélanger ;

— d'une part, les chemises et les pistons,
— d'autre part, les soupapes et leur corps.

4° Le fonctionnement étudié ci-dessus est celui de la pompe *Bosch*. D'autres pompes à pistons multiples placés en ligne dans un même corps fonctionnent sur le même principe.

5° Il existe des pompes dites *rotatives,* dans lesquelles un organe unique distribue le gas-oil à tous les injecteurs. La conception de ces pompes varie avec chaque constructeur. Nous les étudierons ultérieurement.

6° Dans certains moteurs, chaque cylindre est alimenté par un injecteur qui possède sa propre pompe : c'est *l'injecteur-pompe.*

L'ALIMENTATION EN COMBUSTIBLE (suite)

LES INJECTEURS

Les injecteurs ont pour rôle d'introduire dans le cylindre, en le pulvérisant et en le dirigeant, le combustible débité par la pompe d'injection.

LA DESCRIPTION

L'injecteur proprement dit *(fig. 1)* est constitué par une *buse* dans laquelle coulisse une *aiguille* qui est ajustée avec une grande précision, de l'ordre du micron.

La buse est fixée au corps du *porte-injecteur* par un écrou-raccord. L'étanchéité entre la buse et le corps est assurée par le seul contact des portées.

La portée de l'aiguille sur son siège est assurée par un ressort dont le tarage peut être modifié à l'aide d'une vis freinée par un contre-écrou.

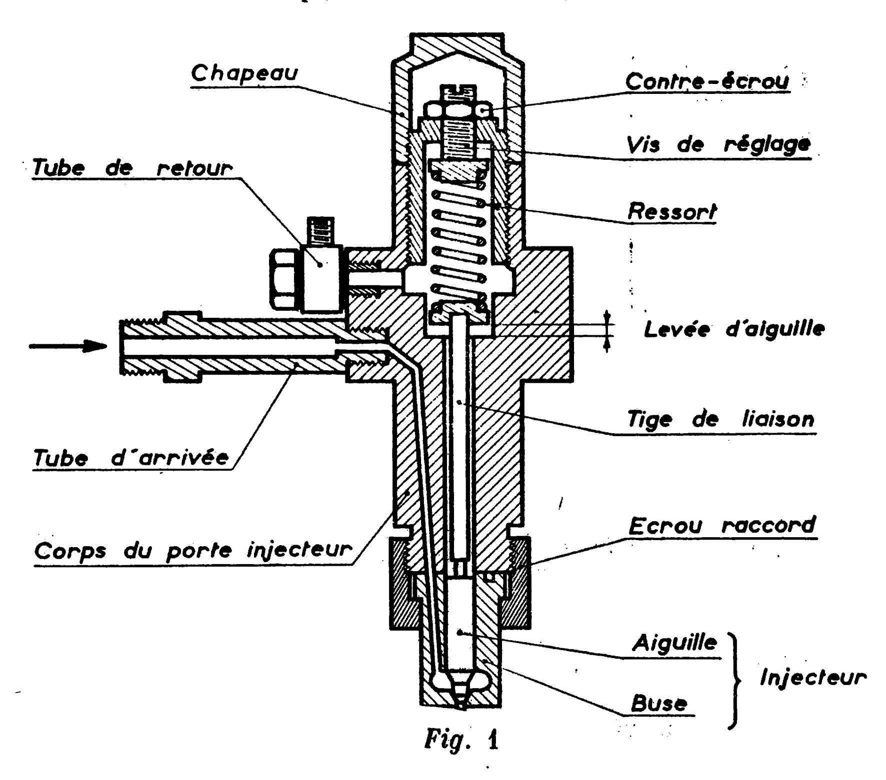


Fig. 1

Le porte-injecteur est fixé sur la culasse par une bride et des goujons. Il est relié à la pompe d'injection par le tube d'arrivée. Un canal percé dans le corps du porte-injecteur et dans la buse amène le gas-oil jusqu'à la partie inférieure de l'aiguille. La partie supérieure du porte-injecteur est reliée au réservoir par un tube de retour.

LES DIFFERENTS TYPES D'INJECTEURS

L'injecteur utilisé sur un moteur dépend du type de la chambre de combustion.

On distingue deux types principaux d'injecteurs qui diffèrent par la forme de leur buse ou de leur aiguille.

Les *injecteurs à téton* présentent l'avantage d'assurer leur propre nettoyage car, le passage du téton empêche l'orifice d'injection de se boucher *(fig. 2)*; de plus, le téton a pour rôle de donner un angle de diffusion au jet. Ils sont utilisés sur les moteurs à turbulence (moteur à préchambre, à réserve d'air, à chambre de turbulence).

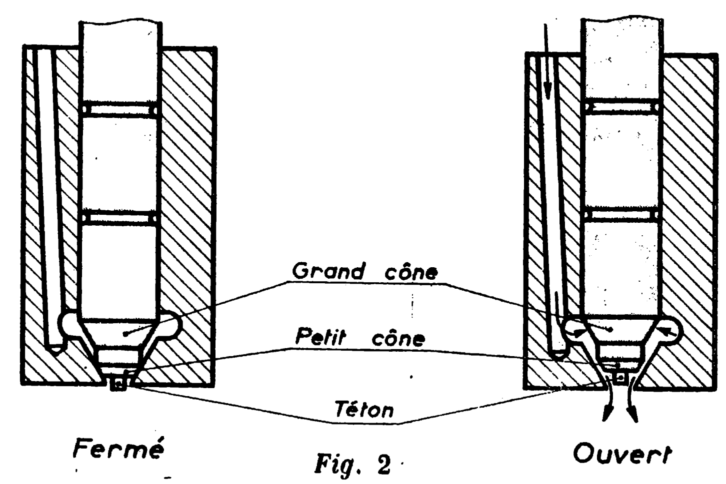
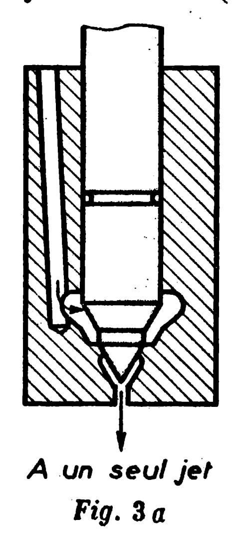


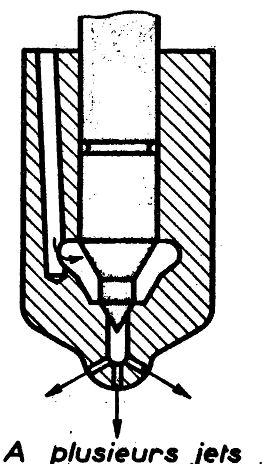
Fig. 2

Les *injecteurs à trous* peuvent être à un seul jet *(fig. 3a)* ou à plusieurs jets *(fig. 3b)*; chaque trou mesure quelques dixièmes de millimètre de diamètre. Ils sont utilisés généralement sur les moteurs à injection directe (meilleure répartition du combustible).



A un seul jet

Fig. 3 a



A plusieurs jets

Fig. 3 b

LE FONCTIONNEMENT

L'aiguille est maintenue fermée par l'action du ressort. Le gas-oil, refoulé par la pompe d'injection, exerce une pression sur le grand cône de l'aiguille *(fig. 2 et 3)*. Lorsque cette pression devient supérieure à la tension du ressort, l'aiguille se soulève et le gas-oil pénètre dans le cylindre.

La pression d'ouverture dépend de la tension du ressort. Plus le ressort est comprimé, plus la pression est élevée.

Le tarage des injecteurs ne peut être fait qu'à l'aide d'une *pompe d'essai* ou de tarage *(fig. 4)*, en respectant les indications des constructeurs.

Remarques :

1° Comme la pression d'injection est importante, il fuit toujours un peu de combustible le long de l'aiguille, malgré la grande précision de l'ajustage de l'aiguille dans la buse. Ce combustible est ramené au réservoir par un tube de retour *(fig. 1)*.

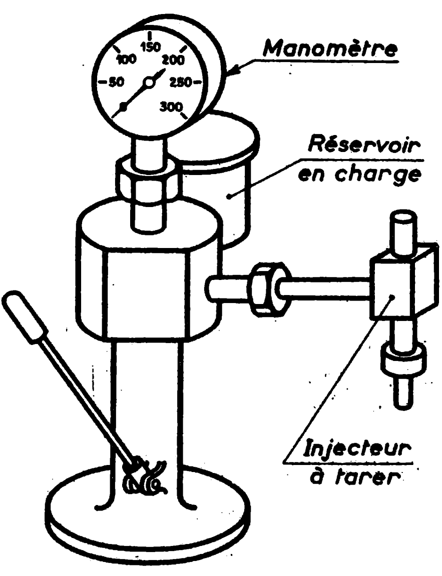


Fig. 4

Cette très légère fuite est d'ailleurs indispensable, car elle assure le graissage de l'aiguille et empêche ainsi son grippage.

2° Il existe des *injecteurs à soupape* qui peuvent injecter des quantités très faibles de combustible à chaque injection. Ils sont utilisés sur les moteurs de faible puissance.

LE DEMONTAGE DE L'INJECTEUR

Avant de démonter l'injecteur, il faut nettoyer soigneusement l'ensemble démonté, puis procéder dans l'ordre suivant :

a) desserrage de la vis de réglage,
b) dépose de l'injecteur *(aiguille et buse)*.

Le remontage doit s'exécuter dans l'ordre inverse du démontage.

Remarque :

En raison de leur grande précision d'usinage, les aiguilles et les buses ne peuvent pas être désappariées. Elles doivent être manipulées avec soin. Leur nettoyage s'effectue au gas-oil.

(VOIR AU VERSO)

LA SURALIMENTATION

La suralimentation permet d'augmenter la puissance d'un moteur donné, sans changer ses caractéristiques, en améliorant le taux de remplissage du cylindre.

Pour que l'air admis remplisse au maximum les cylindres, on lui donne, dans la pipe d'admission, une pression supérieure à la pression atmosphérique, soit à l'aide d'un compresseur, soit à l'aide d'un turbo-compresseur.

LE COMPRESSEUR

Le compresseur est une pompe à engrenages constituée par deux gros engrenages placés dans un carter *(fig. 5)*. Seul, l'un des deux engrenages est moteur. Son entraînement est assuré:

— soit par poulies et courroie,
— soit par une commande mécanique: pignons et chaîne ou jeu de pignons.

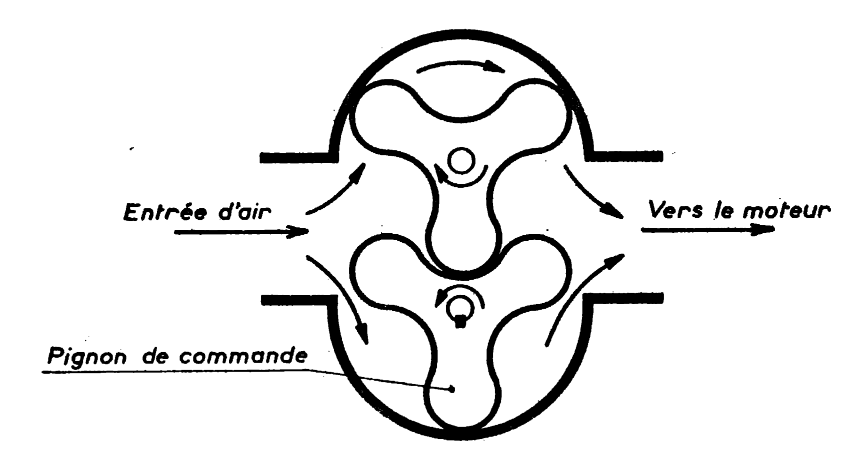


Fig. 5

Le compresseur est surtout utilisé sur les moteurs à deux temps, car il permet un balayage plus efficace des gaz brûlés qui restent à l'intérieur des cylindres.

LE TURBO-COMPRESSEUR

Le turbo-compresseur utilise l'énergie des gaz d'échappement. Il est constitué par deux turbines fixées sur le même axe, mais placées dans deux carters différents :

— L'une de ces turbines est entraînée par les gaz d'échappement.

— L'autre turbine aspire l'air dans les canalisations d'admission et le refoule sous pression vers le moteur, ce qui améliore le taux de remplissage.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LES RÉGULATEURS

Lorsque le chauffeur accélère, il agit sur la crémaillère qui fait pivoter les pistons de la pompe d'injection ; la quantité de combustible injecté augmente. Si l'effort demandé au moteur reste constant, sa vitesse de rotation augmente ; le moteur peut s'emballer, ce qui risque d'entraîner la rupture d'un organe. Pour limiter la vitesse maximum et maintenir constante la vitesse minimum *(vitesse de ralenti)* la pompe d'injection est munie d'un dispositif régulateur.

LE REGULATEUR MINI-MAXI

Le régulateur mini-maxi est constitué par deux ou plusieurs masses fixées en bout de l'arbre à cames de la pompe d'injection *(fig. 1)*.

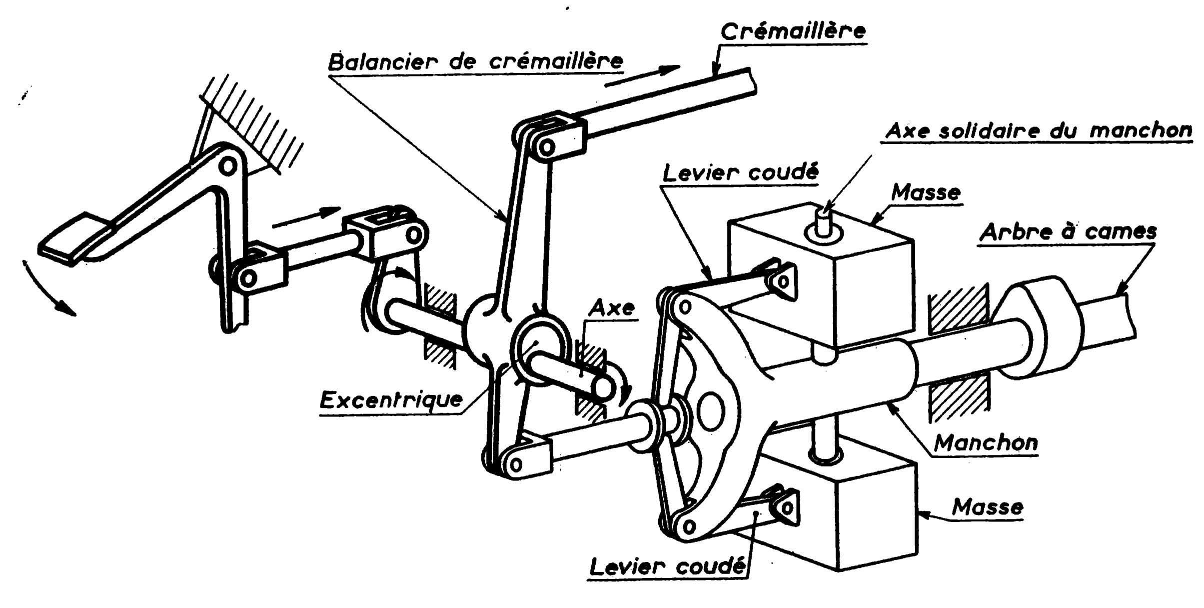


Fig. 1

Ces masses tendent à s'écarter sous l'effet de la force centrifuge ; mais leurs mouvements sont freinés par deux ressorts:

— le *ressort de ralenti* à tarage faible,
— le *ressort de vitesse maxi* à tarage plus élevé *(fig. 2)*.

Un écrou de réglage permet de modifier le tarage des deux ressorts.

Une suite de leviers transmet les déplacements de ces masses à la crémaillère.

Pour bien comprendre le fonctionnement de ce dispositif, il faut étudier séparément l'action du chauffeur sur la crémaillère, puis celle du régulateur.

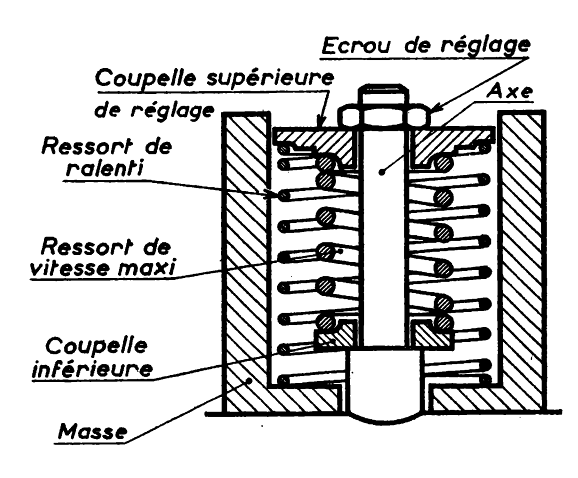


Fig. 2

L'action du chauffeur

Quand le chauffeur accélère, il fait pivoter l'excentrique et par suite le balancier dans le sens des flèches *(partie en trait fort de la figure 1)*. La crémaillère est repoussée vers un débit plus élevé. La quantité de combustible injecté augmente. Inversement, elle diminue, lorsque le chauffeur relâche l'accélérateur.

L'action du régulateur

Le rôle du régulateur est d'agir sur la crémaillère, indépendamment du chauffeur, aux vitesses mini et maxi uniquement. Il n'a donc aucune action aux autres vitesses.

— Il provoque la coupure, en ramenant la crémaillère vers le stop, si le régime dépasse la vitesse maxi choisie *(partie en trait fort de la figure 3)*.

— Il provoque la coupure au-dessus de la vitesse mini choisie et, au contraire, il augmente le débit au-dessous de cette vitesse choisie.

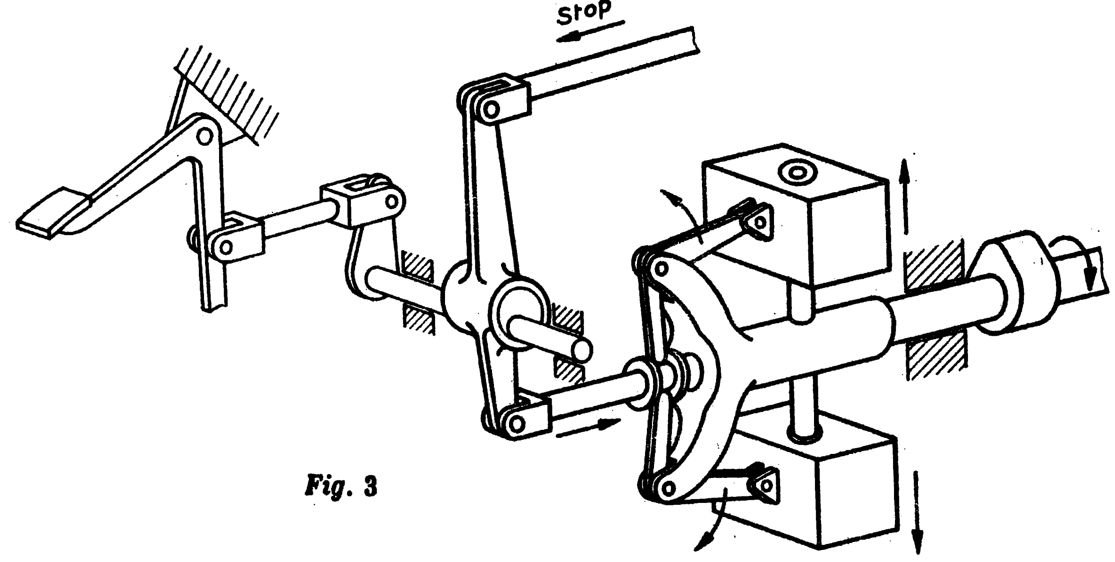


Fig. 3

Au ralenti

Dès que le moteur est en route, les masses s'écartent sous l'action de la force centrifuge et écrasent légèrement les ressorts extérieurs de faible tarage *(fig. 4)*.

Les faibles variations de régime font s'écarter ou se rapprocher les masses, dans la limite du jeu du ressort de ralenti.

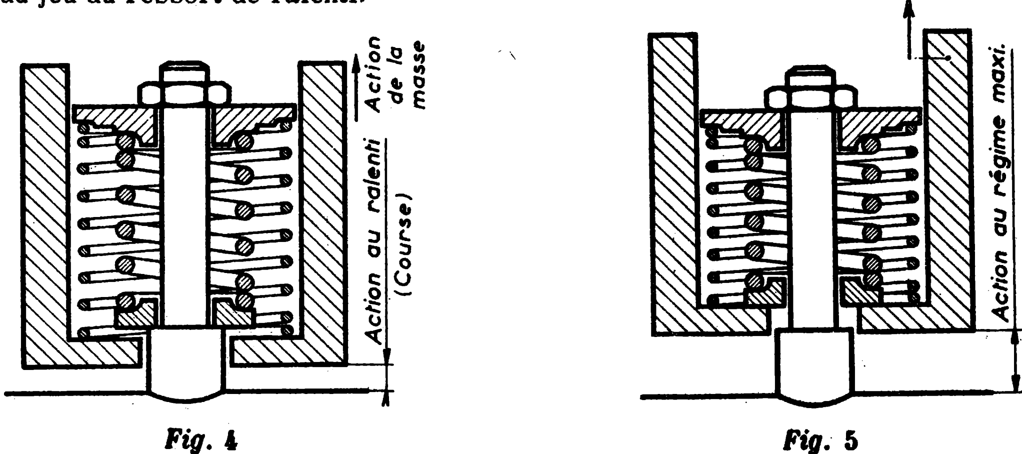


Fig. 4

Fig. 5

Ces légers déplacements sont transmis à la crémaillère et la vitesse de ralenti est maintenue.

Au régime maxi

Dès que le régime de ralenti est franchement dépassé, la force centrifuge écarte les masses qui compriment au maximum les ressorts de ralenti et viennent prendre appui sur les coupelles inférieures des ressorts de vitesse maxi.

Le régulateur n'agit plus car seule la valeur atteinte par la force centrifuge à la vitesse maxi peut vaincre le tarage très dur des ressorts de grande vitesse.

Lorsque la vitesse maxi prévue est atteinte, la force centrifuge devient suffisante pour que les masses puissent comprimer les ressorts de grande vitesse *(fig. 5)* et ramener la crémaillère en position de stop.

LE REGULATEUR TOUTES VITESSES

La *figure* 6 représente un régulateur toutes vitesses, sur lequel vous pouvez distinguer les organes énumérés ci-dessous :

L'ensemble tournant est constitué par :

— un plateau avant fixe, solidaire de l'arbre à cames,

— un plateau arrière mobile et relié à la crémaillère,

— des masses formées chacune par deux billes serties dans une cage et entraînées par l'intermédiaire des alvéoles ménagés dans les plateaux.

Le *système antagoniste* comporte trois ressorts maintenus en place par deux coupelles qui coulissent sur la tige de réglage de débit. Ces trois ressorts, de surcharge, de ralenti, de grande vitesse s'opposent aux déplacements du plateau arrière.

La *commande d'accélération* agit sur la coupelle arrière et modifie la tension des ressorts.

La *commande de stop* est utilisée pour ramener la tige de réglage vers le stop.

Deux butées et une *vis de réglage* permettent de modifier la valeur de la vitesse maxi, du ralenti et du débit.

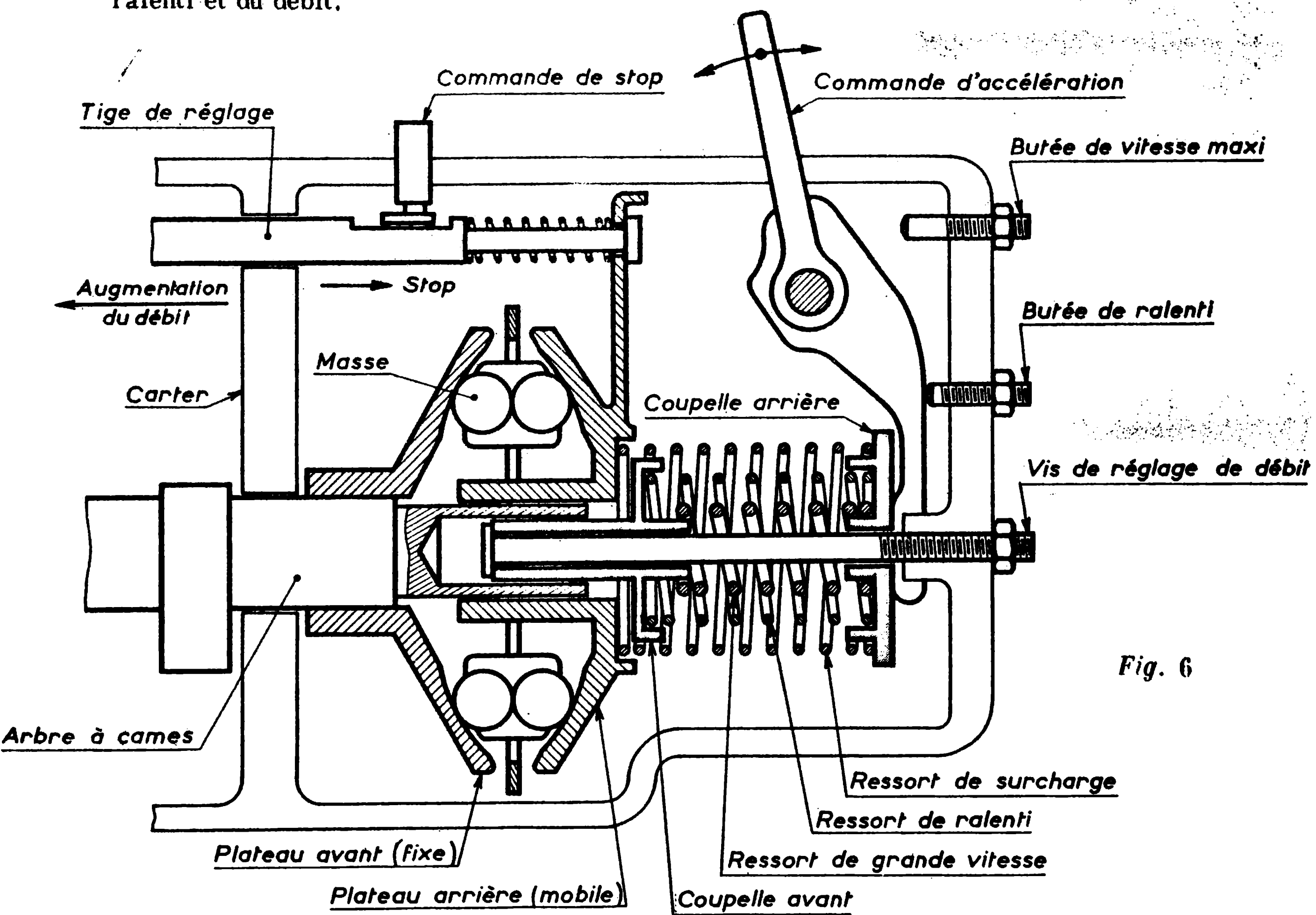


Fig. 6

Remarquez que la *figure* 6 représente un régulateur à l'arrêt. Les masses n'ont aucune action sur le plateau arrière.

Le fonctionnement

Le fonctionnement du régulateur toutes vitesses repose sur les effets de la force centrifuge, comme celui du régulateur mini-maxi.

Les ressorts, au lieu d'être pré-réglés au banc d'essai et de fonctionner à tarage fixe, sont à *tarage constamment variable,* du fait qu'ils sont commandés directement par la pédale d'accélérateur.

Pendant la surcharge

Pour faciliter le démarrage du moteur, il faut que le débit du combustible soit supérieur au débit maximum à pleine charge. Cet excès de débit prend le nom de *surcharge.*

Pour démarrer, le conducteur accélère à fond. Le levier vient en butée sur la butée de vitesse maxi. La tige de réglage est dans la position de débit de surcharge.

Dès que le moteur commence à tourner, les masses s'écartent, repoussent le plateau arrière qui vient en butée contre la coupelle avant, en comprimant le ressort de surcharge. La tige de réglage est ramenée dans une position de débit plus faible.

Au ralenti

Lorsque le conducteur relâche l'accélérateur, le levier vient s'appuyer sur la butée de ralenti. Le plateau arrière est repoussé contre la coupelle avant et comprime le ressort de surcharge et le ressort de ralenti. Il se produit un équilibre entre l'action des masses et la réaction des deux ressorts. La régulation du régime de ralenti est ainsi assurée.

Aux autres vitesses

Lorsque le conducteur accélère, il déplace la coupelle arrière, ce qui modifie le tarage des ressorts. A chaque tension correspondent une nouvelle position d'équilibre du plateau arrière et un nouveau débit commandé par la tige de réglage. Le conducteur n'a pas d'action directe sur le débit.

Ce dispositif permet donc d'obtenir un équilibre de régulation, à n'importe quelle vitesse intermédiaire entre le ralenti et le régime maxi.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LES RÉGULATEURS (suite)

LE RÉGULATEUR TOUTES VITESSES À DÉPRESSION

Ces régulateurs utilisent la dépression créée dans le collecteur d'admission par l'aspiration, en aval d'un volet. Cette dépression varie naturellement avec la vitesse du moteur et l'ouverture du volet (charge).

Le régulateur à dépression *(fig. 1)* est constitué par deux chambres séparées par une membrane soumise à l'action d'un ressort.

– La *première chambre* (A) communique avec un venturi adapté sur le collecteur d'admission, par une canalisation. Ainsi la dépression peut agir sur une des faces de la membrane *(côté ressort de rappel).*

Fig. 1

– La *deuxième chambre* (B) est limitée aussi par la même membrane dont les déplacements sont transmis à la crémaillère ou à la tige de réglage, par une série de leviers. Cette chambre est mise à la pression atmosphérique.

Le fonctionnement

Le volet relié à la pédale de l'accélérateur modifie la dépression :

– *L'ouverture minimum* correspond à la vitesse de ralenti *(fig. 1)*;
– *L'ouverture complète* correspond à la vitesse maxi *(fig. 2 au verso).*

Pour une même position du volet, tout changement de régime entraîne une modification de la dépression et, par suite, un déplacement de la crémaillère.

— *Si le régime augmente,* la dépression augmente. La membrane s'enfonce et la crémaillère se déplace vers une diminution du débit. Le ressort de rappel est comprimé.

— *Si le régime baisse,* la dépression diminue. Le ressort repousse la membrane et la crémaillère se déplace dans le sens d'une augmentation du débit.

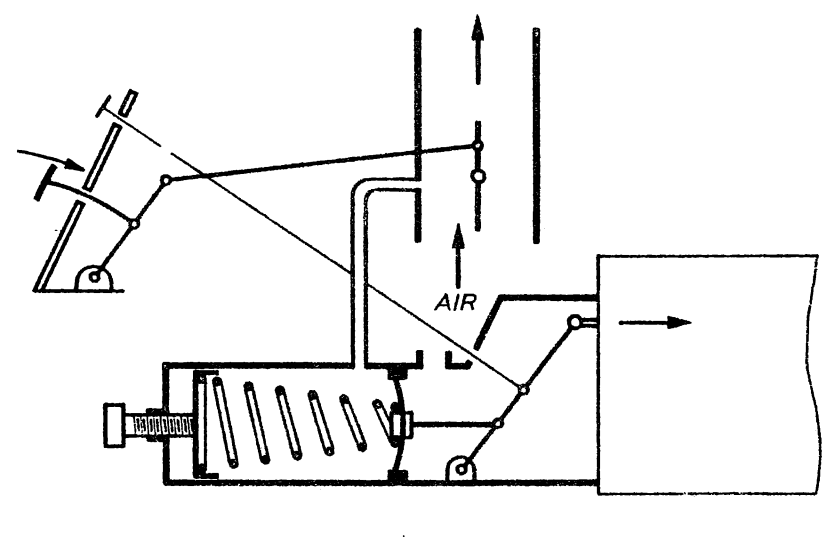


Fig. 2

Ce régulateur fonctionne donc à toutes les vitesses, car à chaque dépression, il y a équilibre entre les pressions de chaque côté de la membrane.

La surcharge

Lorsque le moteur est arrêté, il n'y a pas de dépression. La crémaillère est repoussée dans le sens d'un débit de surcharge.

Lorsque le moteur a démarré, la dépression attire légèrement la membrane en comprimant le ressort ; la surcharge s'élimine.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LES RÉGLAGES

LA VARIATION DE L'AVANCE À L'INJECTION

Dans la pompe d'injection que nous avons étudiée, le début d'injection a lieu au moment précis où la partie supérieure du piston vient masquer les lumières d'admission. L'injection débute donc toujours au même moment, par rapport à la position du piston moteur, quel que soit le régime du moteur, puisque le dessus du piston est plat.

A régime élevé, il peut arriver que la combustion soit insuffisamment amorcée en fin de compression, ce qui entraîne une perte de puissance.

Pour pallier cet inconvénient, il peut être intéressant de faire varier l'avance à l'injection en fonction de la vitesse de rotation ou de la charge du moteur.

Cette variation de l'avance peut être obtenue soit par rotation du piston, soit par décalage de l'arbre à cames de la pompe d'injection.

La variation obtenue par rotation du piston

Pour faire varier l'avance à l'injection, on peut utiliser des pistons dont le dessus, au lieu d'être plat, présente une rampe généralement hélicoïdale *(fig. 1)*.

Cette rampe bouche les lumières d'admission de plus en plus tôt, au fur et à mesure que la charge augmente. L'injection varie donc avec le régime du moteur. Ces pistons sont appelés *pistons à auto-avance* ; ils peuvent être :

— *à fin d'injection fixe* : le bord inférieur du piston est circulaire *(fig. 1 a)* ;
— *à fin d'injection variable* : le bord inférieur du piston présente aussi une rampe hélicoïdale *(fig. 1 b)*.

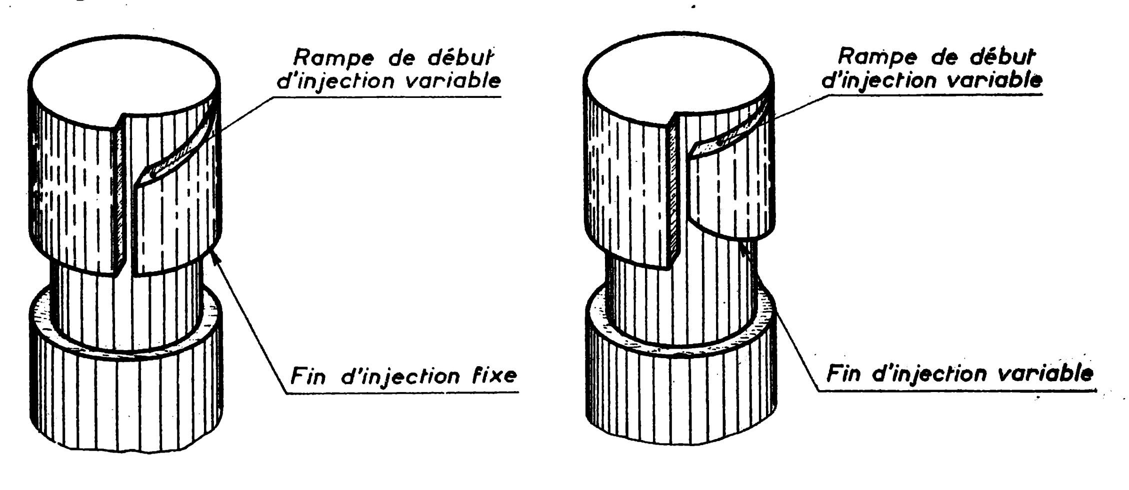


Fig. 1 a *Fig. 1 b*

La variation obtenue par décalage de l'arbre à cames de la pompe

Si l'on décale l'arbre à cames par rapport à son dispositif d'entraînement, on peut modifier l'avance à l'injection. Ce décalage de l'arbre à cames se fait automatiquement en fonction de la vitesse.

Le dispositif est conçu comme celui qui assure l'avance automatique dans l'allumage des moteurs à essence *(fig. 2)*. Son fonctionnement est analogue. C'est le déplacement de deux masselottes, sous l'action de la force centrifuge, qui modifie la position de l'arbre à cames de la pompe d'injection et par suite l'avance à l'injection.

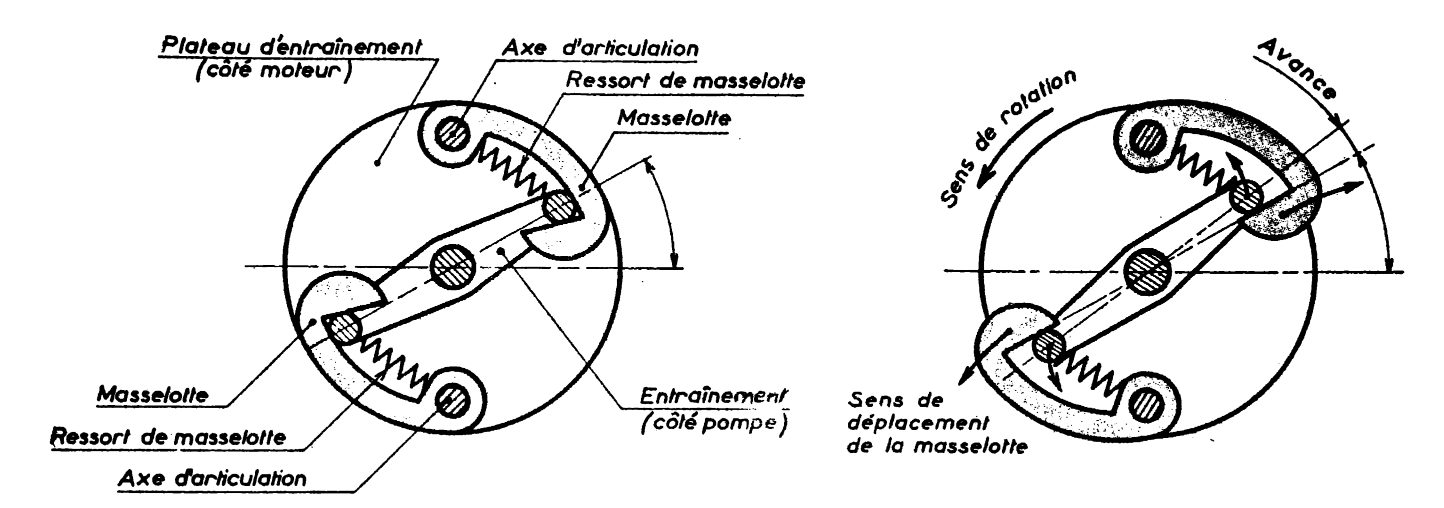


Fig. 2

Remarque :

Il se produit quelquefois à l'injection un phénomène d'auto-retard qui devient de plus en plus important au fur et à mesure que la vitesse de rotation augmente. Il est dû à l'élasticité des tuyauteries et à la compressibilité du carburant qui existe en raison des pressions élevées. Bien souvent, le variateur d'avance centrifuge a simplement pour rôle de compenser cet auto-retard.

LE CALAGE DE LA POMPE D'INJECTION

Nous venons de voir qu'il est nécessaire de mettre de l'avance à l'injection, par rapport au P.M.H., pour obtenir un fonctionnement satisfaisant du moteur Diesel.

Si la pompe d'injection a été déposée pour être réparée, il est nécessaire que le mécanicien sache, lors du remontage, refaire le calage de cette pompe, pour que l'avance à l'injection soit correcte. Nous énumérerons ci-dessous les phases successives de ce réglage.

Le positionnement d'un piston

a) Recherchez le P.M.H. du premier cylindre moteur : les deux soupapes sont fermées; le P.M.H. se situe en fin de compression.

b) Ramenez ce piston à la position correspondant à l'avance à l'injection fixée par le constructeur :

– faites tourner le vilebrequin, en sens inverse du sens de rotation, en dépassant le point d'injection;

– revenez à ce point, dans le sens de rotation, de façon à rattrapper le jeu des différents pignons.

L'avance à l'injection est exprimée soit *en millimètres* de course du piston, soit *en degrés de rotation* du volant. Dans certains cas, la position du P.M.H. et l'avance à l'injection du premier cylindre sont repérées sur le volant ou la poulie.

La recherche du début d'injection

a) Placez la pompe sur son support et branchez les canalisations d'alimentation.

b) Purgez le circuit (filtre, pompe, injecteur).

c) Poussez le levier de commande vers la pleine accélération.

d) Tournez l'arbre à cames de la pompe, dans le sens de rotation, jusqu'au moment où le gas-oil commence à monter dans la tubulure de refoulement de l'élément correspondant au premier cylindre moteur. C'est le début de l'injection ou *point de goutte.*

e) Accouplez la pompe à son entraînement, en veillant à ne décaler ni la pompe, ni le moteur. Dans certains cas, la pompe et le dispositif d'entraînement portent des repères qui facilitent le calage.

f) Branchez les canalisations qui relient la pompe aux différents injecteurs, en respectant l'ordre d'injection.

La correction de l'avance

Le dispositif d'entraînement de la pompe d'injection *(fig. 3)* est conçu pour permettre une correction éventuelle de l'avance à l'injection, après les premiers essais :

– Une *augmentation de l'avance* s'obtient en tournant le toc d'entraînement dans le sens de rotation de la pompe.

– Une *diminution de l'avance* s'obtient en tournant le toc dans le sens inverse de rotation de la pompe.

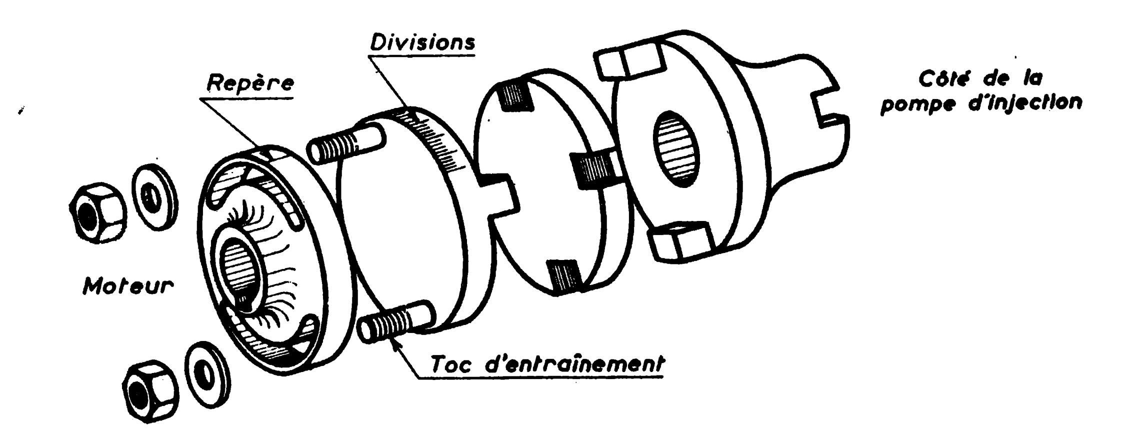


Fig. 3

Nota : Le calage d'une pompe d'injection s'effectue avec le dispositif d'entraînement en position de plein retard.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE GRAISSAGE

Dans un moteur Diesel, le taux de compression élevé entraîne des pressions importantes sur les organes en mouvement. Il est indispensable que tous ces organes soient graissés convenablement.

LES RÔLES DE L'HUILE DE GRAISSAGE

L'huile de graissage joue plusieurs rôles importants que nous vous rappelons succinctement ci-dessous.

— *L'huile agit comme lubrifiant* : le film d'huile qui s'interpose entre deux pièces en mouvement réduit le frottement. Un manque accidentel d'huile de graissage entraîne rapidement la destruction du moteur.

— *L'huile améliore l'étanchéité* : la fine pellicule d'huile qui recouvre le cylindre joue le rôle de joint entre les segments et le cylindre. Les fuites de gaz se trouvent réduites et par suite la compression est meilleure.

— *L'huile contribue au refroidissement des organes internes:* Ainsi, elle arrose la face interne des pistons où elle se charge de calories avant de retomber dans le carter.

— *L'huile détergente maintient la propreté du moteur* : les huiles dites détergentes s'oxydent lentement, s'opposent à la formation de dépôts et protègent de la corrosion les organes internes du moteur. Elles contiennent généralement un additif antioxydant qui prolonge leur durée.

LES CARACTERISTIQUES DES HUILES DE GRAISSAGE

La viscosité

Une huile peut être plus ou moins épaisse. Elle peut couler plus ou moins facilement.

L'huile moteur doit être *suffisamment visqueuse* pour que la pellicule qui s'intercale entre les parties frottantes résiste bien à la pression exercée.

L'huile moteur doit par contre être *suffisamment fluide* afin que la résistance opposée à l'entraînement du moteur soit faible. Une huile trop épaisse rend le démarrage très difficile et, de plus, n'assure pas son rôle de refroidisseur de manière satisfaisante.

Une société américaine d'ingénieurs de l'automobile a établi une classification des huiles en fonction de leur viscosité. Cette échelle S. A. E. *(Society of Automotive Engineers)* distingue sept catégories réparties en deux groupes :

— Le *premier groupe* définit des huiles utilisables dans les pays tempérés : S. A. E. 20 - S. A. E. 30 - S. A. E. 40 - S. A. E. 50.

— Le *deuxième groupe* intéresse des huiles étudiées spécialement pour les pays froids : S. A. E. 5 W - S. A. E. 10 W - S. A. E. 20 W.

Les chiffres les plus élevés correspondent aux huiles dont la viscosité est la plus élevée.

L'index de viscosité

La viscosité d'une huile dépend de la température. Les huiles s'épaississent quand la température baisse. C'est pour cette raison qu'on utilise une huile fluide l'hiver et une huile plus épaisse l'été.

Ceci tend actuellement à disparaître car les huiles ont atteint une *stabilité* leur permettant de résister aux hautes et aux basses températures.

Les additifs

Pour améliorer les qualités des huiles minérales, les raffineurs y ajoutent les additifs que nous vous énumérons ci-dessous.

— Les additifs *améliorateurs de l'index de viscosité* ont permis d'obtenir des huiles à haut index, peu sensibles aux variations de température. Il en résulte que certaines huiles couvrent plusieurs numéros S.A.E. ; ce sont les huiles *multigrades*. Ainsi, par exemple, une huile S.A.E. 20 W/20 couvrira S.A.E. 20 W et S.A.E. 20.

— Les additifs *antioxydants* ralentissent l'altération de l'huile, sous l'action de l'air et de la température et, par suite, prolongent leur durée.

— Les additifs *anticorrosion* évitent la corrosion des surfaces métalliques, en particulier les additifs antisoufre.

— Les additifs *détergents* empêchent la formation de dépôts sur les organes du moteur.

— Les additifs *antimousse* s'opposent à l'apparition de la mousse qui gènerait la lubrification.

Remarques :

1° *On ne doit pas mélanger des huiles de marques différentes,* car les additifs qu'elles contiennent peuvent réagir les uns sur les autres.

2° *Il est dangereux de remplacer une huile ordinaire minérale par une huile détergente ou d'ajouter de l'huile détergente à une huile minérale,* car si le moteur est sale, les impuretés peuvent être décollées par l'huile détergente et venir obturer les canalisations de graissage.

LE CIRCUIT DE GRAISSAGE

La *figure* 1 schématise le circuit d'huile d'un moteur dans lequel le graissage s'effectue sous pression.

— Le *carter* est le réservoir d'huile du moteur.

— La *pompe de graissage* est une pompe à engrenages qui aspire l'huile dans le carter, à travers une crépine qui arrête les plus grosses impuretés. Le clapet de sécurité 1 limite la pression débitée par la pompe.

— La *rampe principale* assure le graissage des paliers du vilebrequin. Elle est alimentée au travers d'un filtre tamis. Si ce filtre se bouche, la rampe principale est alimentée directement par l'intermédiaire du clapet différentiel 2, appelé *by-pass,* qui s'ouvre sous l'action de la surpression provoquée par le colmatage du filtre. Le clapet 3 limite la valeur de la pression dans la rampe principale. Le retour de l'huile au carter s'établit au travers d'un filtre centrifuge protégé par un clapet 4.

— Les *rampes secondaires* assurent directement la lubrification des paliers de l'arbre à cames, des culbuteurs, des engrenages de distribution. La pression est limitée par le clapet 5.

— Un *indicateur de pression* 6, branché sur la canalisation principale, permet de contrôler la valeur normale de la pression.

— Un *dispositif de refroidissement* peut compléter le circuit de graissage. Il est généralement branché en dérivation sur la rampe principale.

LES FILTRES

Le lubrifiant doit être particulièrement bien filtré; c'est pourquoi le circuit de graissage comporte plusieurs filtres qui doivent être contrôlés périodiquement (remplacement des cartouches ou nettoyage au gaz-oil).

Le filtre tamis

Ce filtre comporte un empilage d'éléments filtrants en toile métallique très fine *(fig. 2).* L'huile introduite à la partie inférieure du filtre doit, pour ressortir par le tube central, traverser ces éléments sur lesquels elle abandonne ses impuretés. Notez que les limailles sont attirées au passage par une bague magnétique.

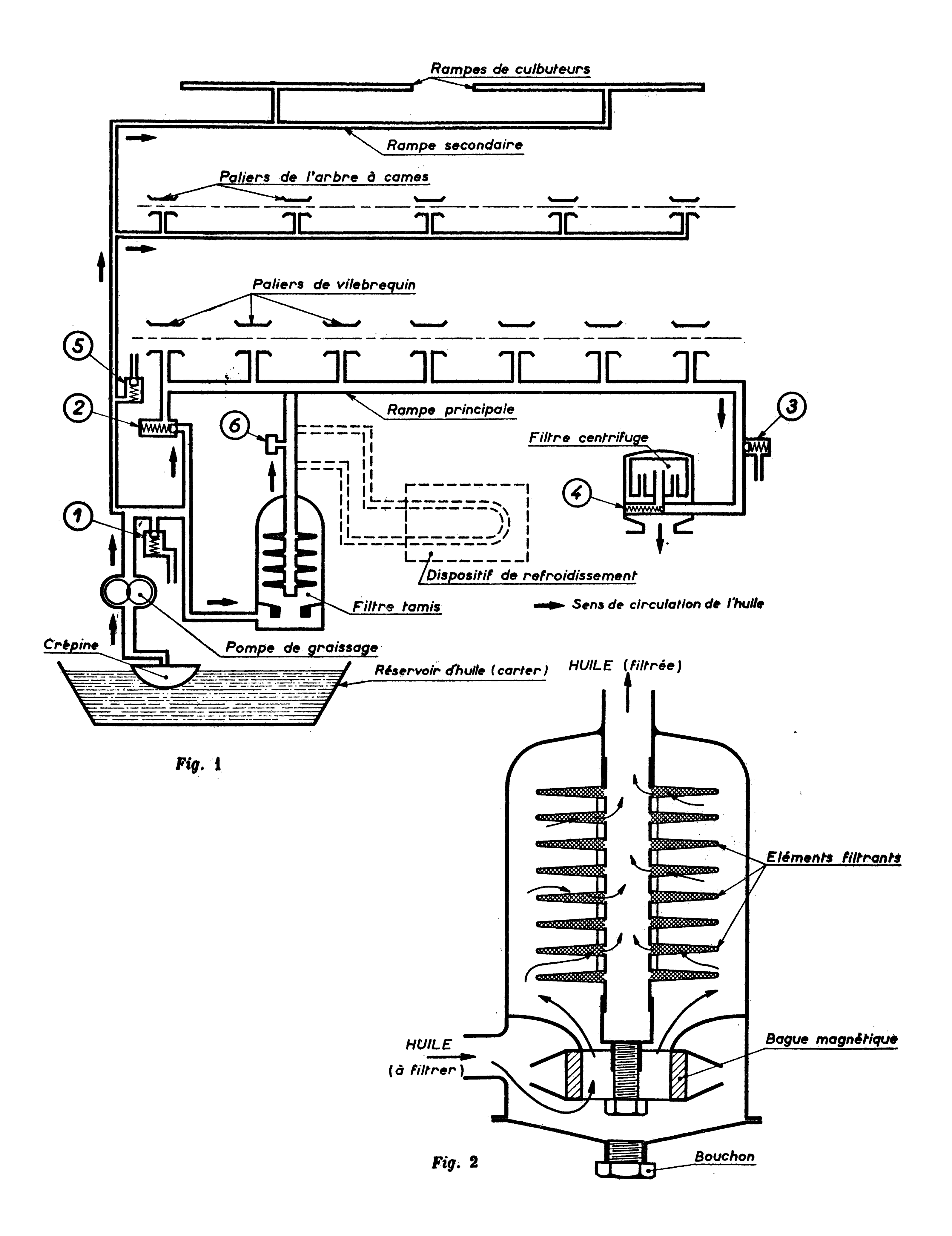

Rampes de culbuteurs
Rampe secondaire
Paliers de l'arbre à cames
Paliers de vilebrequin
5
2
Rampe principale
6
3
Filtre centrifuge
4
1
Dispositif de refroidissement
Filtre tamis
Sens de circulation de l'huile
Crèpine
Pompe de graissage
Réservoir d'huile (carter)
HUILE (filtrée)
Eléments filtrants
Bague magnétique
HUILE
(à filtrer)
Bouchon

Fig. 1

Fig. 2

Le filtre centrifuge

Dans ce modèle, l'huile arrive sous pression dans un bol tournant sur un axe *(fig. 3)*. Elle ressort par deux gicleurs opposés placés de telle façon qu'en sortant, elle fasse tourner le bol.

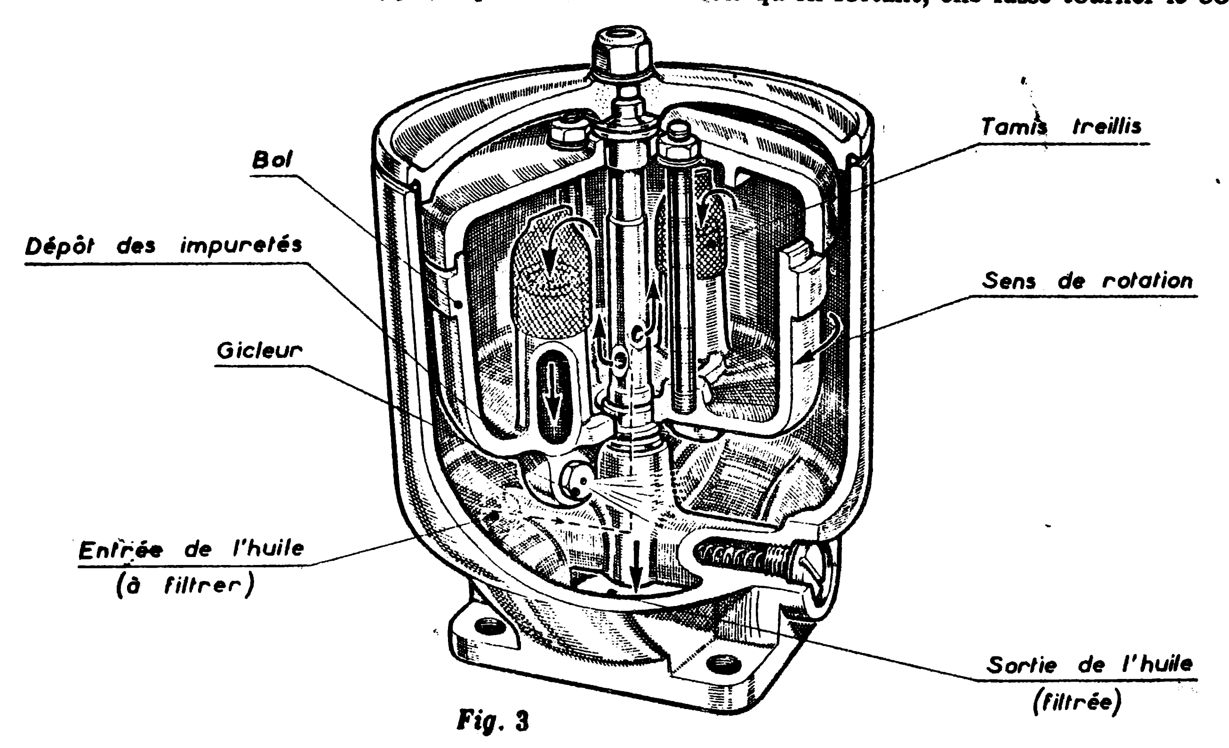


Fig. 3

Sous l'effet de la force centrifuge, les impuretés sont plaquées contre la paroi du bol. Le fonctionnement est identique à celui d'un tourniquet d'arrosage *(fig. 4)*.

Ce filtre est équipé d'un clapet qui s'ouvre seulement lorsque la pression de l'huile est suffisante pour assurer la rotation du bol épurateur.

Sens de rotation

Gicleur

Gicleur

Arrivée d'eau

Fig. 4

Le filtre à cartouche

Certains filtres sont constitués par une cartouche filtrante qui ne peut pas être régénérée par lavage. Il est donc indispensable de changer la cartouche, en respectant les indications du constructeur.

LE REFROIDISSEMENT DE L'HUILE

Pour maintenir sensiblement constante la température de l'huile et l'empêcher de perdre ses qualités lubrifiantes, on complète parfois le circuit de graissage par un échangeur de température ou un refroidisseur d'huile.

L'échangeur de température

Cet appareil est constitué par un faisceau de tubes en cuivre placés dans un carter. L'eau de refroidissement du moteur passe dans le carter. En circulant dans le faisceau, l'huile de graissage se refroidit ou se réchauffe.

Le refroidisseur d'huile (moteur à refroidissement à air)

Cet appareil est constitué par un faisceau de tubes en cuivre ou en acier munis d'ailettes, comme un radiateur d'eau. L'huile qui le traverse y abandonne une partie de la chaleur qu'elle avait préalablement emmagasinée.

LA MISE EN ROUTE D'UN MOTEUR DIESEL

Le démarrage d'un moteur Diesel est souvent plus difficile que celui d'un moteur à essence. Avant de traiter les différents moyens utilisés pour faciliter le démarrage, nous vous rappellerons les contrôles qui doivent obligatoirement être faits avant la mise en route.

LES CONTRÔLES PRÉALABLES

Avant de mettre en route un moteur Diesel, le conducteur doit obligatoirement vérifier :

- les niveaux d'huile du moteur, de la pompe d'injection et éventuellement du régulateur,
- le niveau du gas-oil dans le réservoir,
- le niveau de l'eau dans le radiateur, quand le moteur est refroidi par eau,
- la tension des courroies entraînant la dynamo et la pompe à eau *(refroidissement à eau)* ou la turbine *(refroidissement à air)*,
- le niveau d'huile du compresseur lorsque le freinage s'effectue au moyen d'air comprimé,
- la pression des pneumatiques.

LES MOYENS DE DÉMARRAGE DES VÉHICULES ROUTIERS

La mise en route d'un moteur Diesel se fait souvent à l'aide d'un démarreur électrique avec ou sans l'apport d'artifices de démarrage.

Le démarreur électrique

Le démarreur électrique utilisé sur les véhicules poids lourds Diesel est conçu comme celui qui équipe les véhicules de tourisme à essence. Mais il doit être beaucoup plus puissant (de 4 à 10 ch) car il doit entraîner des masses plus importantes et vaincre, en fin de compression, des pressions plus élevées.

Les artifices de démarrage

Certains moteurs sont équipés de dispositifs qui facilitent le démarrage.

Le *start pilote* est un réservoir auxiliaire qui permet d'envoyer dans la pipe d'admission, au moment du démarrage, un combustible d'amorçage très détonant qui rend plus facile l'allumage du combustible normal. Le fonctionnement du start pilote est assuré par une pompe à main.

La *bougie de préchauffage* est placée dans la chambre de combustion. Elle comporte une résistance électrique qui, portée au rouge (par incandescence) au moment du démarrage, élève la température de l'air et facilite la combustion du gas-oil.

La *résistance de réchauffage* est placée sur la pipe d'admission et échauffe l'air, avant qu'il ne pénètre dans la chambre de combustion.

Remarque :

Les bougies de préchauffage et les résistances de réchauffage doivent *toujours* être portées au rouge, avant la mise en action du démarreur.

LES AUTRES MOYENS DE DÉMARRAGE

Les moyens de démarrage que nous vous citons maintenant **ne sont pas utilisés sur les véhicules routiers.**

Le démarrage à la main

Certains moteurs Diesel peuvent être démarrés à la manivelle. Souvent un dispositif de décompression, qui permet de maintenir ouverte la soupape d'échappement, facilite le lancement.

Le démarrage par volant d'inertie

Ce dispositif de démarrage est constitué par une manivelle qui entraîne un *volant d'inertie*, par l'intermédiaire d'un mécanisme très démultiplié : à un tour de manivelle, correspond plusieurs tours de volant.

Lorsque ce volant d'inertie tourne suffisamment vite, on l'embraye sur le volant du moteur, à l'aide d'un pignon baladeur.

Le volant d'inertie se débraye automatiquement, dès que le moteur démarre.

Le démarrage par moteur auxiliaire à essence

Sur certains moteurs Diesel, le démarreur électrique est remplacé par un moteur à essence qui remplit le même rôle. Le moteur auxiliaire et le moteur Diesel sont reliés par une transmission comportant un embrayage.

Les artifices de démarrage étudiés précédemment peuvent être utilisés, comme dans le cas des moteurs équipés d'un démarreur.

Ce dispositif qui assure le démarrage de façon satisfaisante, quelle que soit la température, présente l'inconvénient d'un prix de revient très élevé.

Le démarrage sur le cycle à explosion

Certains moteurs Diesel sont conçus pour permettre le démarrage à l'essence. Chacun des cylindres comporte alors une *chambre auxiliaire* qui communique avec la chambre principale par une soupape. Une *bougie* reliée à un dispositif d'allumage *(magnéto)* est fixée dans la chambre auxiliaire. Un *carburateur* est monté sur la pipe d'admission.

Au démarrage, l'air traverse le carburateur où il se charge de vapeurs d'essence. Une étincelle, produite par la bougie, provoque l'allumage du mélange dans la chambre auxiliaire mise en communication avec la chambre principale, par l'ouverture de la soupape.

Dès que le moteur est suffisamment réchauffé, les soupapes de communication se ferment, l'allumage se coupe, le carburateur est mis hors-circuit et la pompe d'injection commence à débiter.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LA POMPE D'INJECTION A DISTRIBUTEUR ROTATIF

Nous avons étudié la pompe à injection en ligne qui comprend autant d'éléments de refoulement que de cylindres moteurs à alimenter. Les progrès des moteurs Diesel automobiles et l'augmentation des vitesses de rotation ont fait évoluer la technique de l'injection vers la pompe rotative. Cette pompe présente les avantages suivants, par rapport à la pompe en ligne :

— le poids et l'encombrement sont diminués;
— le prix de revient est plus faible ;
— les débits pour chaque cylindre moteur sont égaux ;
— la vitesse de rotation maximum est plus élevée ;
— l'inversion du sens de rotation du moteur est impossible ;
— la lubrification de l'ensemble est effectuée par le gas-oil.

LA DESCRIPTION

La pompe d'injection à distributeur rotatif comporte un rotor qui tourne dans une tête hydraulique.

Le rotor

Le rotor, élément principal de la pompe *(fig. 1)*, est entraîné par le moteur, à mi-vitesse. Il assure la distribution.

A l'une de ses extrémités sont placés les deux pistons qui s'écartent sous l'action de la force centrifuge et de la pression du combustible admis. Ils sont en contact, par l'intermédiaire de galets, avec un anneau à cames qui porte autant de cames que de cylindres moteurs, quand le nombre de cylindres est pair. Lorsque le moteur comporte un nombre impair de cylindres, le nombre de cames est double. Ainsi, un moteur à trois cylindres comportera 6 cames, 3 fois deux cames en vis-à-vis.

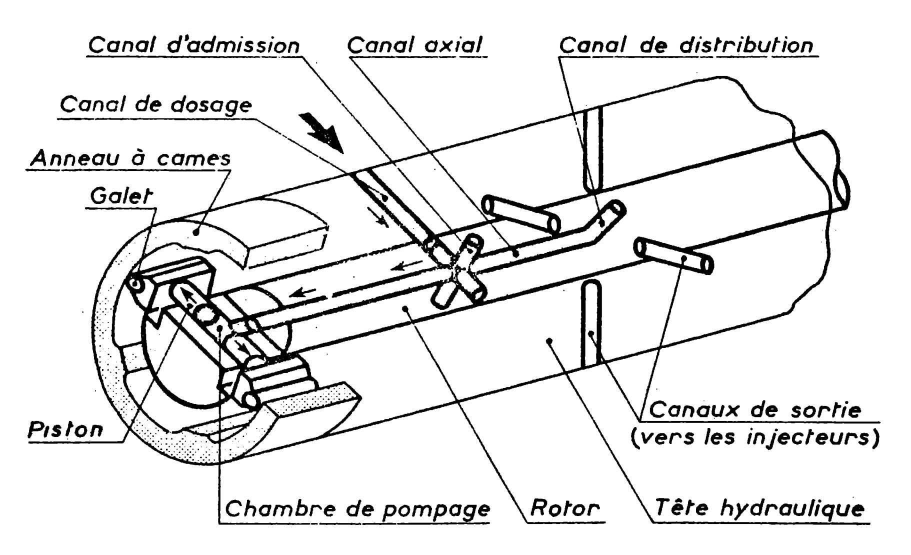


Fig. 1

Dans l'axe du rotor est percé un canal reliant :

— la chambre de pompage située entre les deux pistons,
— les canaux d'admission, en principe autant de canaux qu'il y a de cylindres,
— le canal de distribution.

A l'autre extrémité du rotor une pompe de transfert, munie d'une soupape régulatrice, assure la circulation du combustible en direction du canal de dosage.

La tête hydraulique

Le rotor tourne à l'intérieur d'une partie fixe, la tête hydraulique qui comporte *(fig. 2a)* :

— un canal de dosage,
— les canaux de sortie vers les injecteurs, face au canal de distribution.

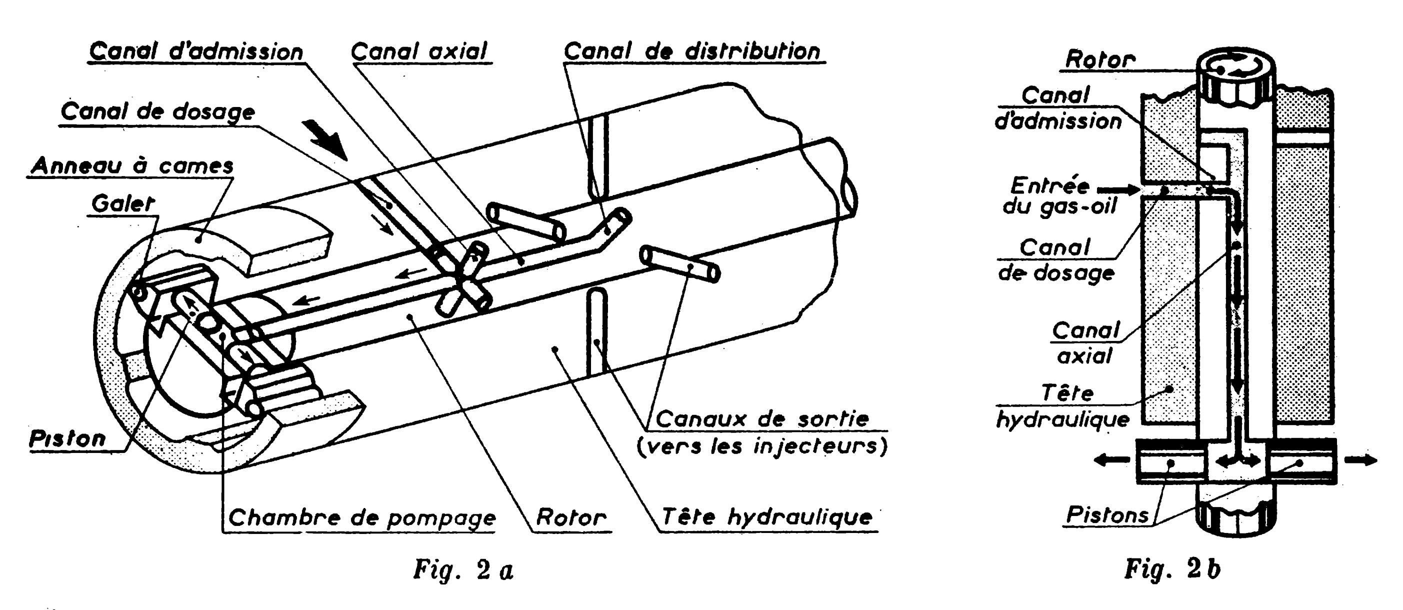


Fig. 2 a *Fig. 2 b*

LA CIRCULATION DU COMBUSTIBLE

Une pompe d'alimentation aspire le combustible dans le réservoir et le refoule vers la pompe de transfert, après passage dans un filtre *(fig. 3)*.

Fig. 3

La pompe de transfert est une pompe à palettes qui élève la pression de ce combustible à une valeur légèrement supérieure appelée *pression de transfert*. Cette pression, variable, s'accroit avec la vitesse de rotation du moteur. Elle est limitée par une soupape régulatrice.

Le combustible refoulé par la pompe de transfert est dirigé vers la soupape de dosage, puis vers le canal de dosage et les canaux d'admission.

Une partie du combustible à pression de transfert assure la lubrification des organes, avant de retourner dans le circuit d'alimentation.

LE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE

Un arbre de commande, entraîné à demi-vitesse du moteur, est relié au rotor.

L'admission

Chaque fois qu'un des canaux d'admission du rotor se place en face du canal de dosage, le combustible pénètre dans le rotor et, par le canal axial, parvient dans la chambre de pompage, entre les pistons qu'il force à s'écarter *(fig. 2a et 2b)*. A ce moment, les pistons, par l'intermédiaire de leurs galets, sont en contact avec les creux de l'anneau à cames.

Pendant l'admission, le canal de distribution ne se trouve pas en face de l'un des canaux de sortie vers les injecteurs.

L'injection

Le rotor ayant tourné de quelques degrés, le canal de dosage n'est plus aligné avec l'un des canaux d'admission *(fig. 4a et 4b)*.

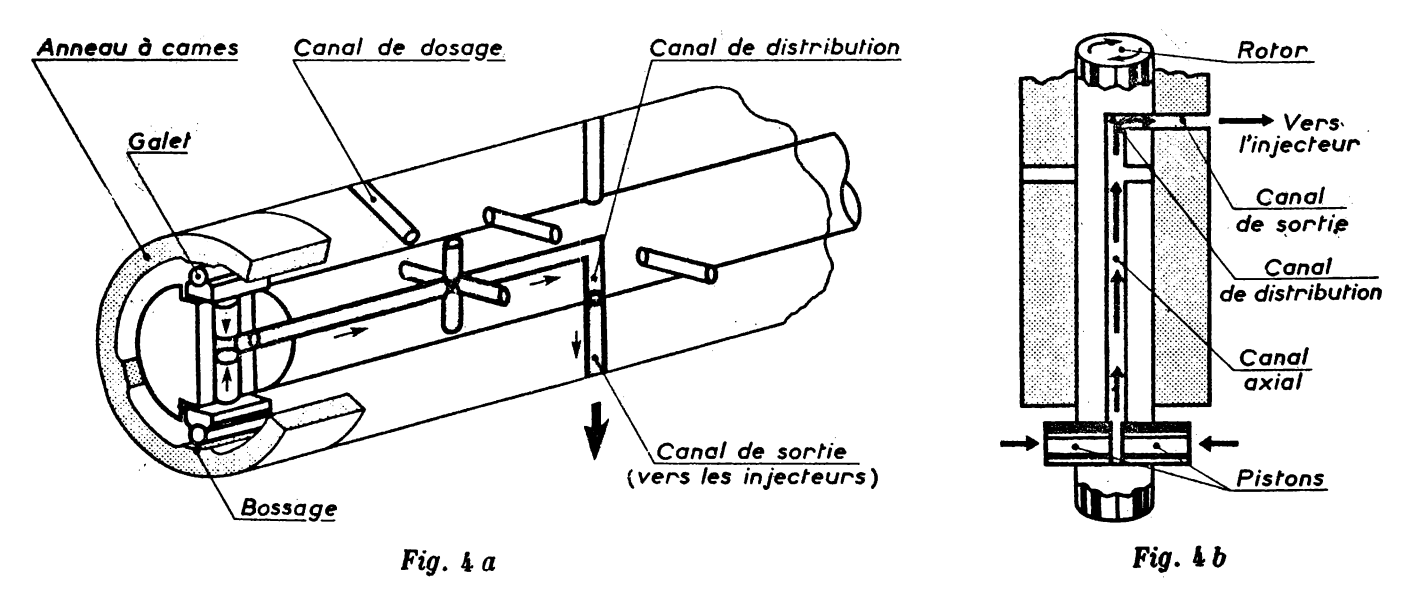


Fig. 4 a *Fig. 4 b*

Le canal de distribution se place en face de l'un des canaux de sortie vers les injecteurs. Pendant cette phase, les galets agissant sur les pistons passent sur les bossages de l'anneau à cames. Les pistons sont repoussés l'un vers l'autre et refoulent à haute pression le combustible vers l'injecteur.

LE DOSAGE DU COMBUSTIBLE

Le dosage est obtenu par une soupape qui, suivant sa position, laisse passer plus ou moins de combustible vers le canal de dosage *(fig. 5 au verso)*.

Cette soupape de dosage est soumise à deux forces opposées :

— D'un côté, agit le ressort du régulateur commandé par la pédale d'accélérateur, par l'intermédiaire d'un arbre cannelé et d'une crémaillère.

— De l'autre côté, s'exerce la pression du combustible provenant de la pompe de transfert. Nous avons remarqué que cette pression est variable en fonction de la vitesse de rotation du moteur.

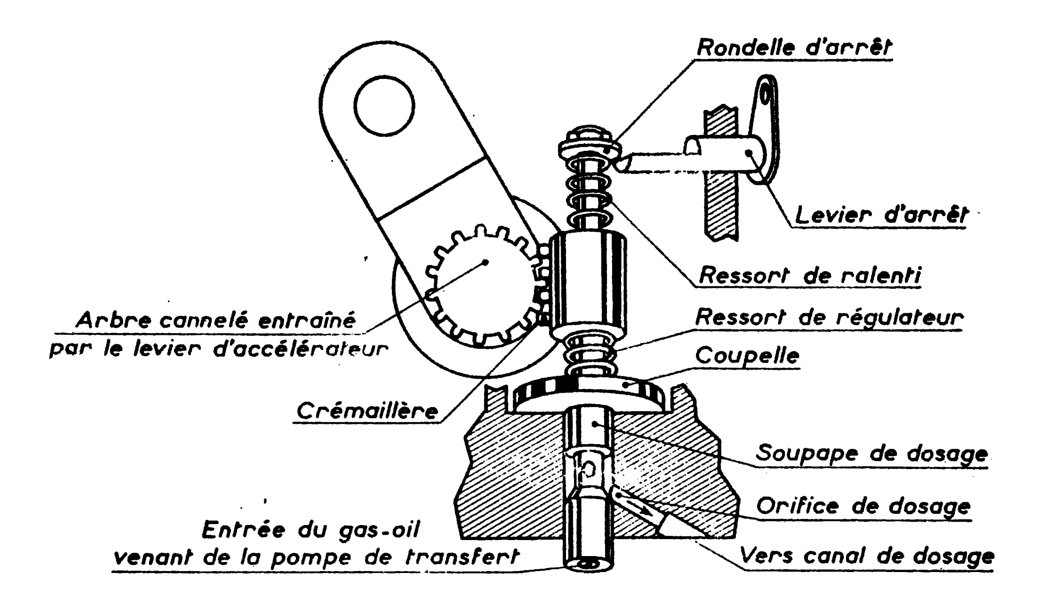


Fig. 5

Lorsque ces deux forces opposées s'équilibrent, la soupape de dosage occupe une certaine position qui détermine une section de passage du combustible vers le canal de dosage. Toute modification de l'une quelconque des deux forces entraîne un déplacement de la soupape de dosage, jusqu'à une nouvelle position d'équilibre. De ce fait, la section de passage du combustible varie. Ce sont toutes ces variations qui assurent le dosage du combustible.

Cette soupape de dosage joue le rôle de régulateur hydraulique toutes vitesses.

La position stop

L'arrêt du moteur est obtenu en déplaçant la soupape de dosage qui doit masquer entièrement le canal de dosage. La manœuvre du levier d'arrêt commande une came qui vient soulever la rondelle d'arrêt et, par suite, la soupape de dosage *(fig. 5)* ; ce qui interrompt complètement l'arrivée du gas-oil.

Le réglage du débit maximum

Le réglage du débit maximum est obtenu en limitant la course des pistons du rotor, vers l'extérieur. Ce réglage, effectué en usine, ne peut être modifié par l'utilisateur.

Remarque :

Il existe d'autres types de pompes rotatives dont le fonctionnement diffère de celui que nous avons exposé ; mais le cadre limité de ce cours ne permet pas de les étudier.

Toutes les leçons doivent être conservées.

L'EMBRAYAGE

LE RÔLE DE L'EMBRAYAGE

Vous savez que l'embrayage a pour rôle de transmettre la puissance du moteur aux organes de transmission. Il doit, au moment du démarrage ou du passage des vitesses, assurer une liaison très progressive. Vous avez étudié le fonctionnement de l'embrayage monodisque utilisé sur les véhicules de faible puissance. Pour transmettre une puissance importante, l'embrayage monodisque devient parfois insuffisant. Il semble que l'on pourrait pallier cet inconvénient par deux moyens :

— On pourrait augmenter le diamètre du disque, c'est-à-dire la surface des garnitures ; mais cette augmentation serait limitée par le diamètre du volant.

— On pourrait accroître la pression exercée par les ressorts ; mais le chauffeur devrait alors exercer un effort important pour manœuvrer cet embrayage qui, en outre, perdrait une partie de sa progressivité.

Nous étudierons quatre des solutions adoptées couramment sur les camions : l'embrayage bidisque, l'embrayage assisté par servo-débrayage, la commande hydraulique de débrayage et le coupleur hydraulique.

L'EMBRAYAGE BIDISQUE

Dans l'embrayage bidisque *(fig. 1)*, l'effort à transmettre est réparti sur une surface double de celle de l'embrayage monodisque. Il n'est alors plus nécessaire d'augmenter, ni le diamètre du disque, ni la pression exercée par les ressorts.

La description

Le schéma de l'embrayage bidisque montre qu'il comporte en partant du moteur :

— *le volant moteur ;*
— *deux disques* séparés par un *plateau intermédiaire* et solidaires de l'arbre primaire de la boîte de vitesses ;
— *un plateau presseur* appliqué sur le deuxième disque par des ressorts ;
— *des doigts* ou leviers de débrayage ;
— *un couvercle.*

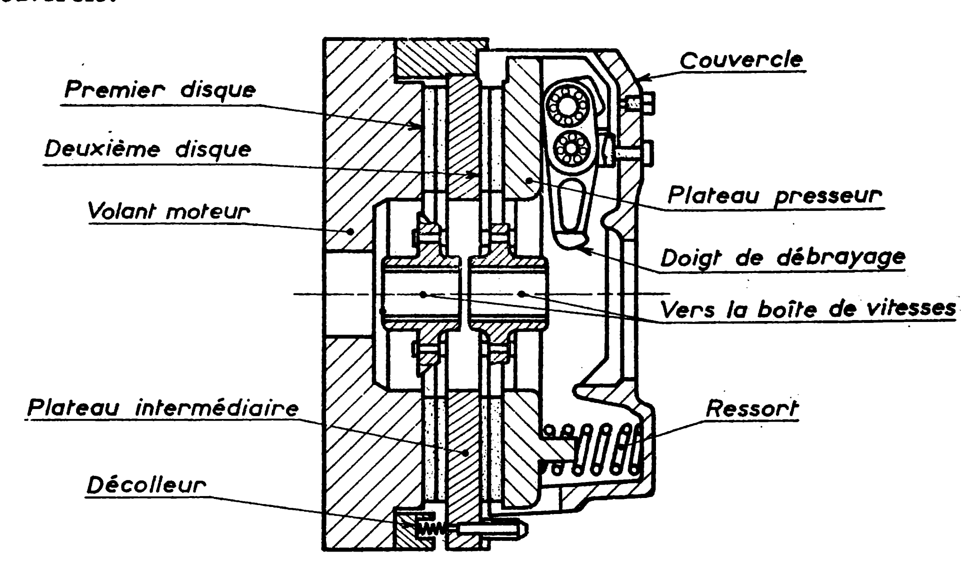


Fig. 1

Le fonctionnement

— *En position embrayée :* les ressorts repoussent le plateau presseur qui comprime les deux disques et le plateau intermédiaire contre le volant. Le mouvement est transmis du moteur vers la boîte de vitesses, par un arbre à cannelures, solidaire des deux disques.

— *En position débrayée :* les doigts de débrayage retirent le plateau presseur. Un petit ressort appelé décolleur repousse le plateau intermédiaire d'une valeur inférieure au déplacement du plateau presseur. Les deux disques sont ainsi libérés. La liaison entre le moteur et la boîte reste interrompue tant que dure le débrayage.

L'EMBRAYAGE ASSISTÉ PAR SERVO-DÉBRAYAGE

Quelquefois, les manœuvres d'un embrayage monodisque ou bidisque demandent un effort assez important. Pour aider le chauffeur et faciliter les manœuvres, on utilise un dispositif de commande assistée appelé servo-débrayage.

Le fonctionnement

Le servo a pour rôle d'établir ou d'interrompre à bon escient la communication entre un réservoir d'air sous pression et un cylindre qui commande le levier d'embrayage *(fig. 2).*

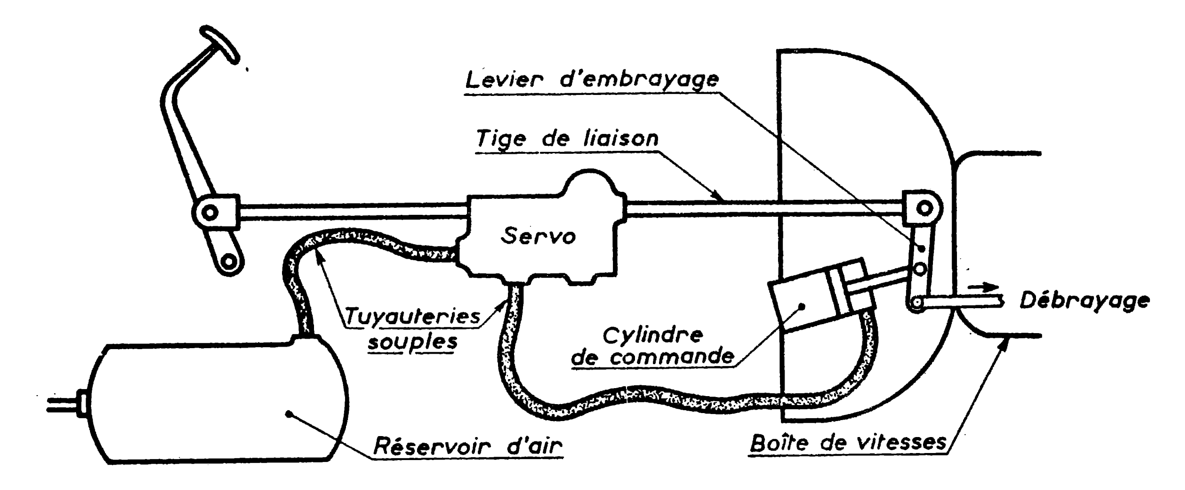


Fig. 2

— *En position embrayée* : l'air du réservoir ne peut pas se diriger vers le cylindre car il en est empêché par la partie gauche du clapet double *(fig. 3).* Par contre, la partie droite du clapet met en communication le cylindre et l'atmosphère, par un piston creux qui est repoussé par le ressort.

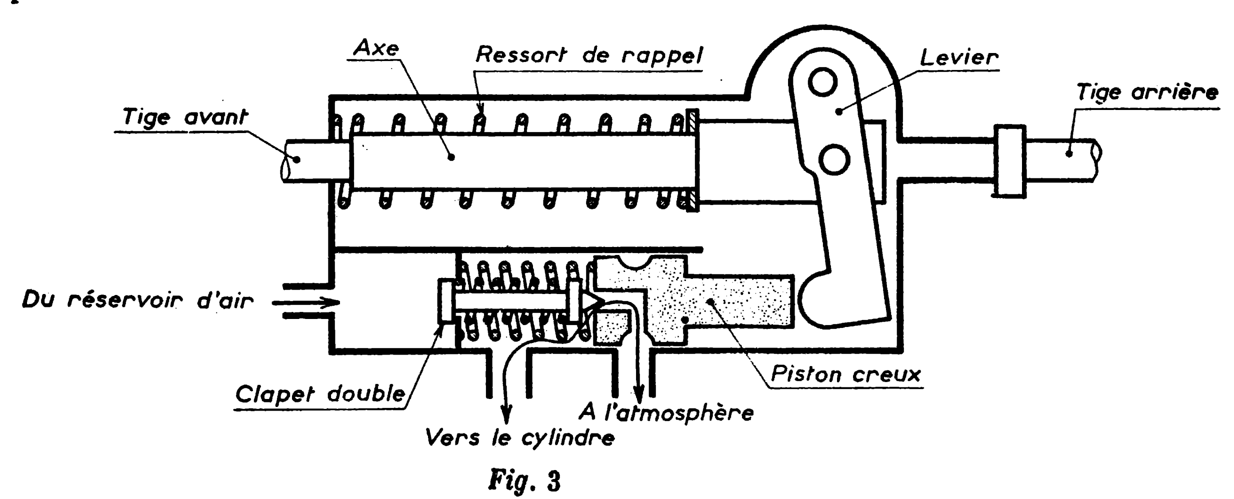


Fig. 3

— *En position débrayée* : l'action sur la pédale provoque le déplacement de la tige avant, donc du levier qui pousse le piston. La mise à l'air libre est interrompue au moment où le piston vient au contact du clapet double.

Puis, sous la pression du piston, le clapet double s'ouvre *(fig. 4),* permettant ainsi à l'air sous pression de passer du réservoir au cylindre de commande.

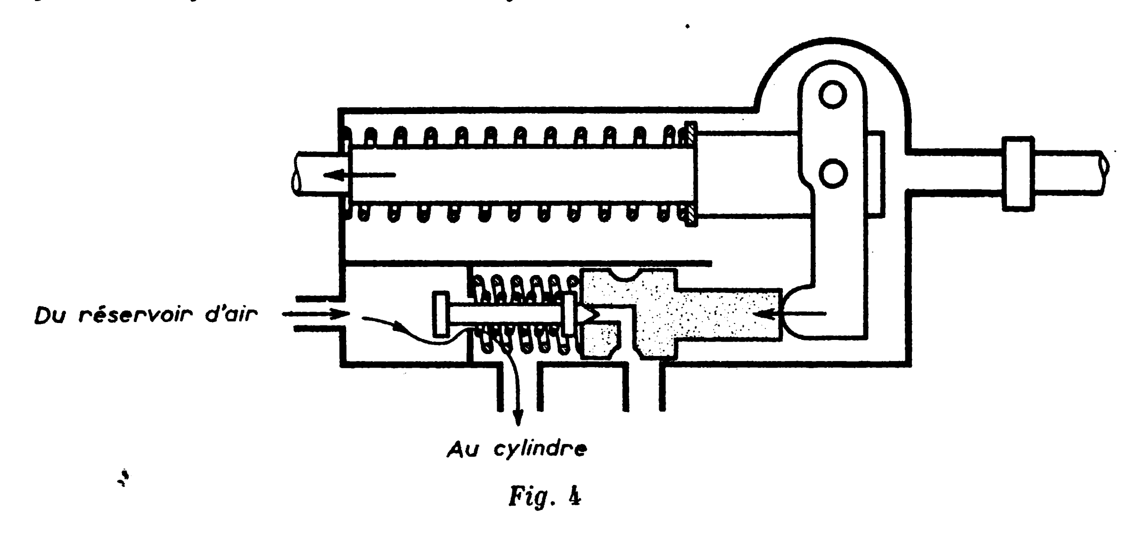


Fig. 4

Il se produit un équilibre entre la résistance du débrayage et l'action de la pression sur le piston de l'appareil, donc l'effort à la pédale. La pression admise dans le cylindre est donc *auto-régulée.*

<u>Remarques</u> :

1° Si le servo-débrayage ne fonctionne plus, le débrayage reste possible. L'axe vient en butée sur le corps de l'appareil qui, ainsi bloqué, est réduit au rôle de simple entretoise entre les tiges de liaison. L'effort de débrayage doit alors être fourni intégralement par le conducteur.

2° Il existe d'autres types de servo-débrayages avec assistance pneumatique qui fonctionnent selon le principe étudié ci-dessus.

Toutes les leçons doivent être conservées.

L'EMBRAYAGE (suite)

LA COMMANDE HYDRAULIQUE DE DÉBRAYAGE

Certains véhicules poids lourds ou transport en commun ne sont pas munis d'un servo-débrayage, mais sont équipés d'une commande hydraulique de débrayage. Ce dispositif présente l'avantage :

— de diminuer l'effort que doit fournir le conducteur ;
— de supprimer les tringleries et articulations diverses des commandes mécaniques ;
— de n'être pas influencé, comme les commandes rigides, par les oscillations entre cabine et châssis ; la progressivité de l'embrayage est donc améliorée.

La description

La *figure* 1 schématise le dispositif de commande hydraulique de débrayage.

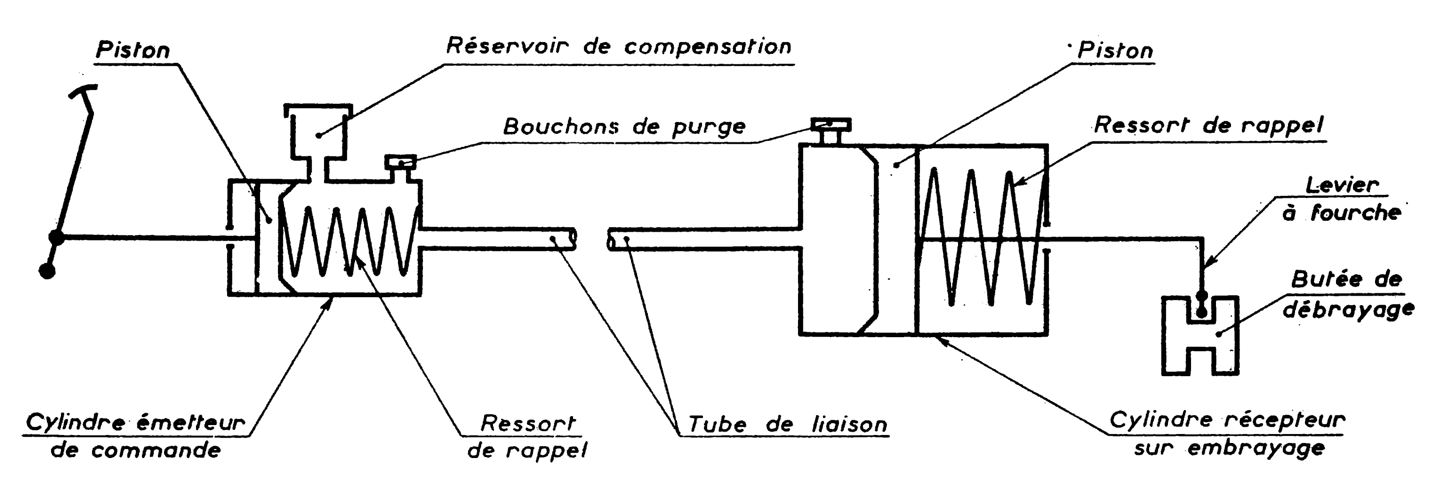


Fig. 1

— Le *cylindre émetteur* de commande est alimenté en liquide *Lockheed* par le réservoir de compensation. Le piston de ce cylindre est commandé par la pédale de débrayage et repoussé par un ressort de rappel.

— Le *cylindre récepteur* est placé sur l'embrayage. Son piston commande la butée de débrayage et est repoussé par un ressort de rappel.

— Un *circuit de tubes* rigides ou flexibles relie le cylindre de commande au cylindre récepteur.

Le fonctionnement

Le principe du fonctionnement de la commande hydraulique de débrayage est simple.

— *Le débrayage* : L'effort exercé sur la pédale de débrayage se transmet au piston qui, en se déplaçant, obture l'orifice d'arrivée d'huile, puis refoule l'huile vers le cylindre récepteur. Le piston de ce cylindre commande la butée de débrayage par un levier à fourche.

— *L'embrayage* : Dès que le conducteur lâche la pédale de débrayage, les ressorts de rappel assurent le retour des deux pistons.

Exemple de calcul

a) Quelle est la force F appliquée sur le piston de l'émetteur lorsqu'on exerce une pression de 20 kilogrammes sur la pédale de débrayage (fig. 2) ?

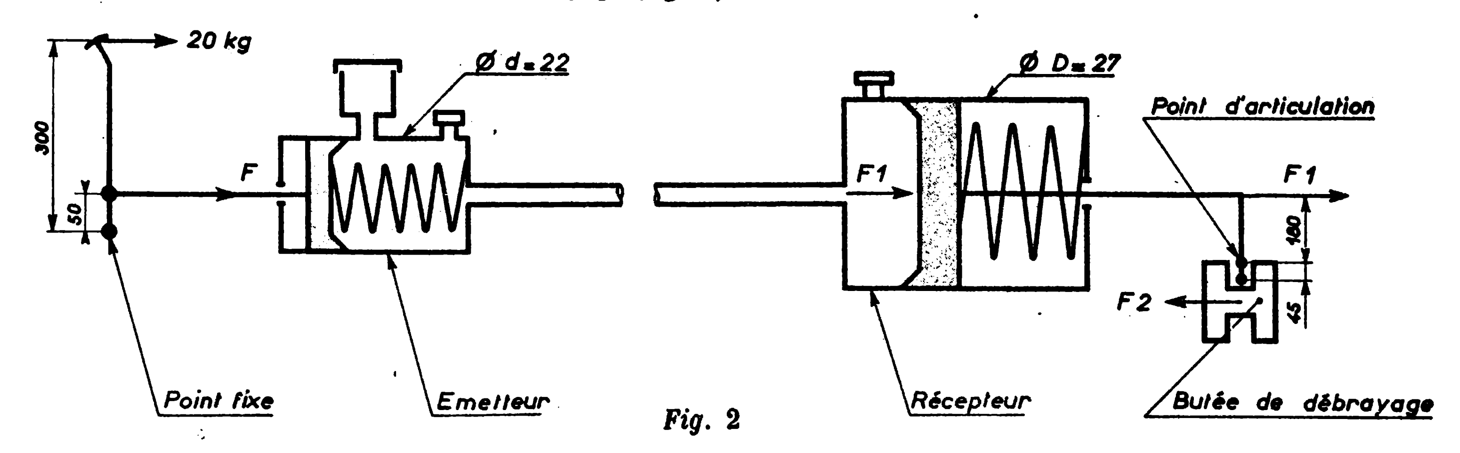


Fig. 2

La force de 20 kilogrammes appliquée sur la pédale de débrayage est multipliée par le rapport des bras de leviers de cette pédale. Sur le piston de l'émetteur, il s'exerce donc une force F de :

$$20 \times \frac{300}{50} = 120 \text{ kg}$$

b) Quelle est, exprimée en kilogrammes par centimètre carré, la pression exercée sur le piston de l'émetteur ?

La pression exercée sur le piston de l'émetteur se calcule en appliquant la formule :

$$P = \frac{F}{S}$$

P = Pression en kilogrammes par centimètre carré.
F = Force en kilogrammes.
S = Section en centimètres carrés.

La section du piston de l'émetteur est de :

$$S = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$S = \frac{3,14 \times 22 \times 22}{4} = 379,94 \text{ mm}^2 \simeq 3,80 \text{ cm}^2$$

La pression F exercée sur le piston de l'émetteur est égale à :

$$P = \frac{F}{S}$$

$$P = \frac{120}{3,8} = 31,5 \text{ kg/cm}^2$$

c) Quelle est la force F_1 appliquée sur le piston du récepteur ?

En application du principe de *Pascal,* la pression unitaire de 31,5 kg/cm² est transmise *intégralement* au piston du récepteur, sur toute sa surface.

La section du piston du récepteur est de :

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$S = \frac{3,14 \times 27 \times 27}{4} = 572,26 \text{ mm}^2 \simeq 5,7 \text{ cm}^2$$

La force F_1 exercée sur le piston du récepteur est de :

$$F_1 = 31,5 \times 5,7 \simeq 179,5 \text{ kg}$$

d) Quelle est la force F_2 transmise à la butée d'embrayage ?

La force de 179,5 kilogrammes appliquée sur le piston du récepteur est multipliée par le rapport des bras du levier de commande, soit :

$$F_2 = F_1 \times \frac{180}{45}$$

$$F_2 = 179,5 \times \frac{180}{45} = 718 \text{ kg}$$

Cet exemple de calcul montre que, pour une force de 20 kilogrammes appliquée à la pédale de débrayage, on dispose d'une force de 718 kilogrammes pour commander la butée d'embrayage.

LE COUPLEUR HYDRAULIQUE

La progressivité de l'embrayage classique dépend surtout de l'habileté du chauffeur. Il existe des embrayages ou coupleurs hydrauliques dans lesquels l'entraînement est assuré progressivement, sans intervention du chauffeur.

La description

Le coupleur hydraulique est constitué par deux turbines *(fig. 3)* enfermées dans un carter étanche fixé sur le volant. Ce carter contient de l'huile spéciale qui conserve ses qualités à haute température.

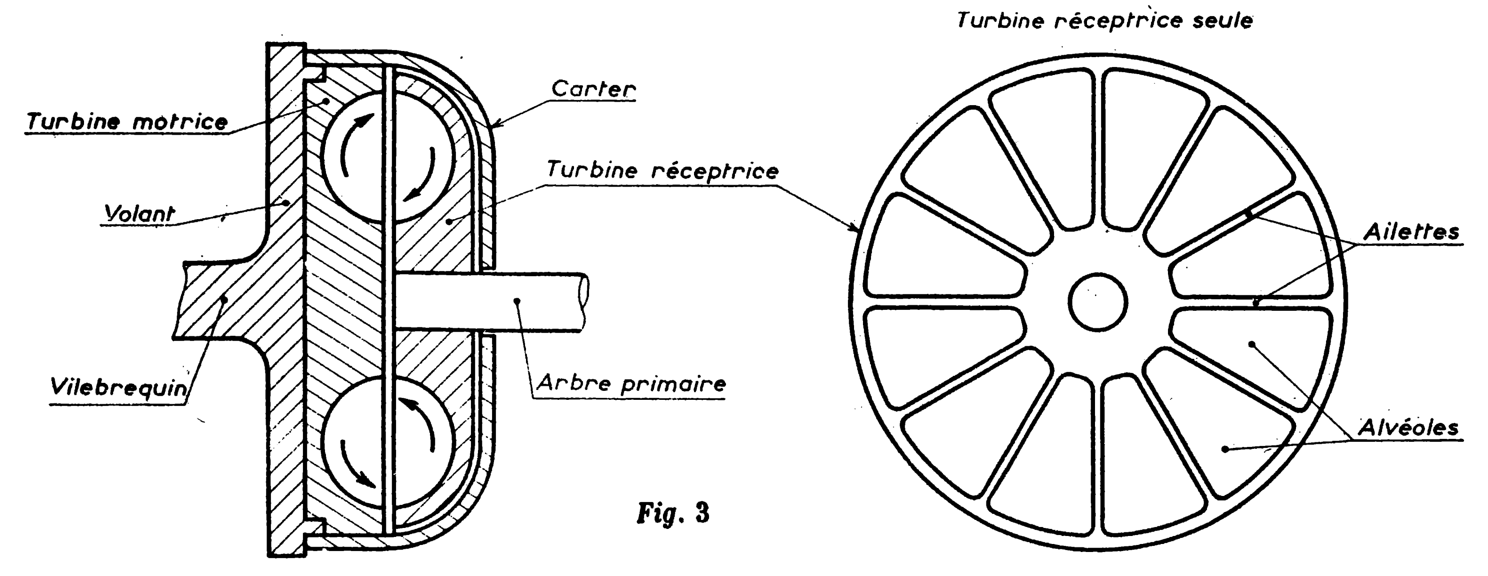


Fig. 3

— La *première turbine,* fixée sur le volant, est cloisonnée par des ailettes. C'est la turbine *motrice.*

— La *seconde turbine,* identique à la première et placée juste en face, est solidaire de l'arbre primaire de la boîte de vitesses *(fig. 4).* C'est la turbine *réceptrice.*

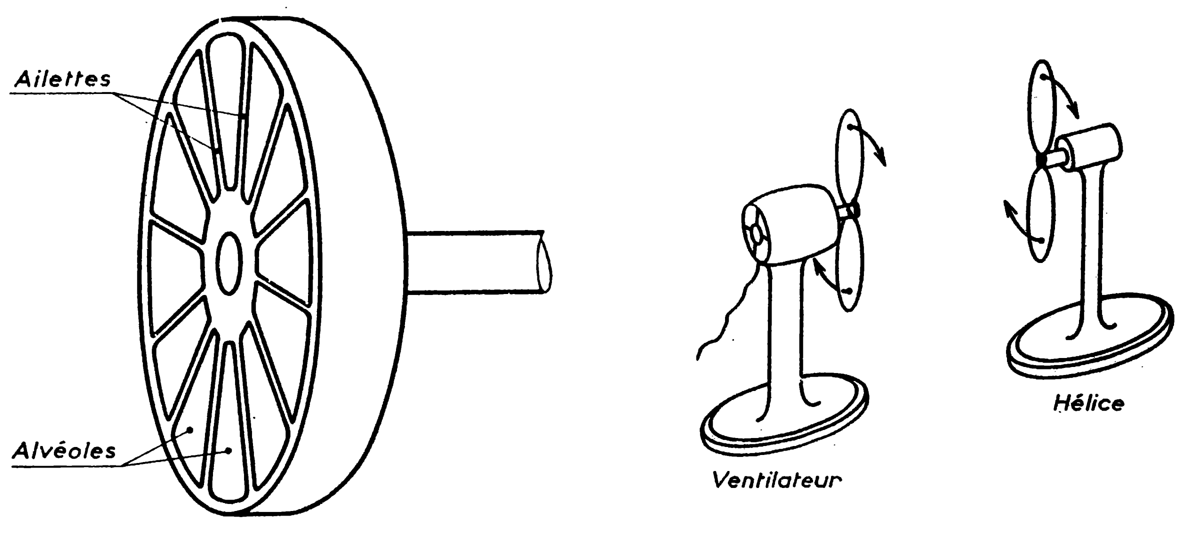


Fig. 4

Fig. 5

Le fonctionnement

Plaçons en face d'un ventilateur en fonctionnement une hélice libre sur son axe. Cette hélice recevant l'air projeté par le ventilateur se met à tourner de plus en plus vite, bien qu'il n'y ait aucune liaison mécanique entre le ventilateur et l'hélice *(fig. 5)*. C'est une transmission hydraulique analogue qui se produit dans le coupleur hydraulique.

Lorsque le moteur tourne, l'huile est projetée vers l'extérieur par la turbine motrice. Elle passe dans les alvéoles de la turbine réceptrice. Puis, elle revient dans la turbine motrice, après avoir parcouru un chemin semi-circulaire *(indiqué par des flèches sur la figure 3)*.

Quand la vitesse du moteur est suffisante, l'huile se met à parcourir un circuit fermé dans les alvéoles des deux turbines et la turbine réceptrice se trouve entraînée d'une façon très souple.

L'embrayage hydraulique est très progressif. Mais, il se produit toujours un léger glissement et, dans les meilleurs conditions, le rendement atteint seulement 98 %.

En outre, les coupleurs ne peuvent être associés aux boîtes de vitesses classiques, car, même au ralenti, il se produit toujours un léger entraînement de la turbine réceptrice. Les boîtes à trains épicycloïdaux *(boîte Wilson, boîte Cotal)* peuvent par contre se monter directement derrière un coupleur hydraulique, car ces boîtes ne nécessitent pas de débrayage, pour passer les vitesses.

Remarque :

1° Si l'on intercale, entre le coupleur hydraulique et la boîte de vitesses, un embrayage à disque, il est possible d'utiliser une boîte classique :

— L'embrayage à disque sert au passage des vitesses *(débrayage)*,
— Le coupleur assure la progressivité de la liaison.

2° Il existe un type de coupleur mécanique dans lequel l'embrayage automatique est réalisé par des masselottes soumises à la force centrifuge :

— Lorsque le moteur tourne au ralenti, il n'y a pas embrayage.

— Lorsque la vitesse de rotation atteint 550 tours par minute, les masselottes viennent appliquer les disques, comme sur un embrayage courant. Le moteur et la transmission vers la boîte de vitesses sont ainsi solidarisés.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LA BOÎTE DE VITESSES

Rappelons que la boîte de vitesses a pour rôle de permettre au moteur de conserver son régime, quelle que soit la vitesse du véhicule et le profil de la route. Les boîtes de vitesses montées sur les poids lourds sont semblables, dans leur principe, à celles utilisées sur les véhicules de tourisme ; mais, elles sont de construction plus robuste.

LA BOITE CLASSIQUE A CINQ VITESSES

Une boîte de vitesses classique comprend *(fig. 1)* plusieurs arbres ;

— *L'arbre d'entrée,* ou arbre primaire, est solidaire de l'embrayage.

— *L'arbre intermédiaire* est en prise constante avec l'arbre d'entrée.

— *L'arbre de sortie* ou arbre secondaire, placé dans le prolongement de l'arbre d'entrée, reçoit son mouvement des pignons des différentes vitesses. Il est relié au pont arrière par un arbre de transmission.

— *L'arbre de marche arrière* permet d'inverser le sens de rotation de l'arbre de sortie, par interposition d'un ou plusieurs pignons supplémentaires dans la transmission.

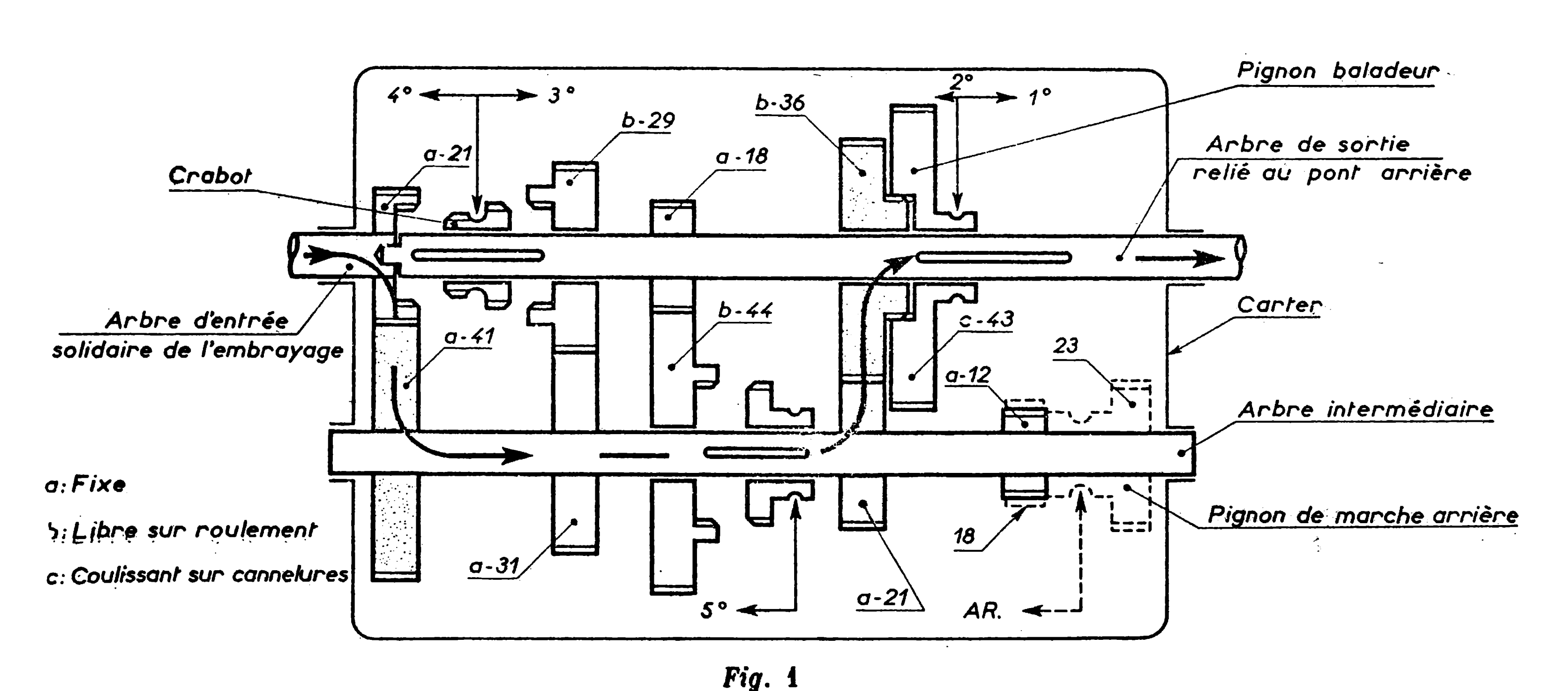


Fig. 1

Le montage des pignons

Les lettres *a, b* et *c* attribuées à chacun des pignons correspondent à des montages différents.

— *Un pignon marqué a* est claveté sur l'arbre qui le porte. Ce pignon et l'arbre tournent à la même vitesse ; *ils sont solidaires en rotation.*

Par contre, la position de ce pignon sur l'arbre est invariable ; *il est fixe en translation.*

— *Un pignon marqué b* est monté sur roulement. Il peut tourner à une vitesse différente de celle de l'arbre qui le porte ; *il est libre en rotation.* On dit souvent qu'il est monté *fou.*

Par contre, sa position sur l'arbre est invariable ; *il est fixe en translation.*

— *Un pignon marqué* c est monté sur des cannelures taillées dans l'arbre *(fig. 2)*. Le pignon et l'arbre tournent donc à la même vitesse ; *ils sont solidaires en rotation.*

Par contre, ce pignon peut se déplacer le long de l'arbre, sur les cannelures ; *il est libre en translation.*

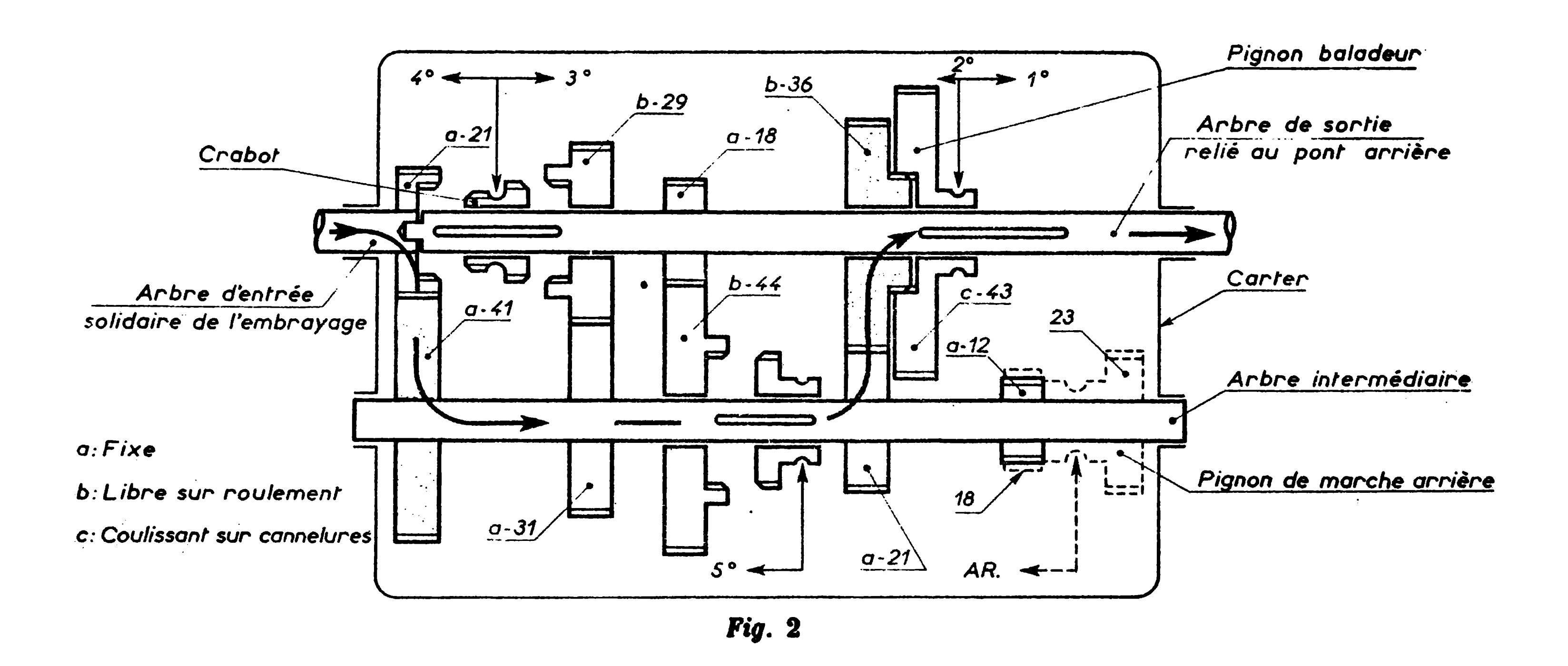


Fig. 2

Remarquez que les *crabots* montés sur cannelures sont aussi solidaires de l'arbre en rotation, mais libres en translation.

La transmission du mouvement

Sur la figure, c'est la deuxième vitesse qui a été enclenchée par déplacement du pignon baladeur sur les cannelures de l'arbre de sortie. En venant craboter le pignon de 36 dents qui est monté fou, le pignon baladeur solidarise en rotation l'arbre de sortie et ce pignon de 36 dents.

— L'arbre d'entrée transmet son mouvement à l'arbre intermédiaire par le pignon fixe de 21 dents qui mène le pignon fixe de 41 dents. Le *pignon menant* comportant moins de dents que le *pignon mené,* la vitesse de rotation de l'arbre d'entrée se trouve réduite. Le rapport des vitesses est égal à :

$$\frac{\textit{Nombre de dents du pignon menant}}{\textit{Nombre de dents du pignon mené}} = \frac{21}{41}$$

— L'arbre intermédiaire entraîne en rotation le pignon fixe de 21 dents qui mène le pignon de 36 dents porté par l'arbre de sortie. Ce pignon, rendu solidaire en rotation de l'arbre de sortie, lui communique son mouvement. La vitesse de rotation de l'arbre de sortie se trouve réduite à nouveau, dans le rapport $\frac{21}{36}$.

La vitesse de rotation est donc réduite deux fois de suite et le rapport total des vitesses est égal au produit des deux rapports partiels, soit pour l'exemple choisi :

$$\textit{Rapport des vitesses} = \frac{21}{41} \times \frac{21}{36} = 0,299$$

Si l'arbre d'entrée tourne à 800 tours par minute, l'arbre de sortie est entraîné à :

$$800 \times 0,299 = 239,2 \simeq 239 \text{ tr/mn}$$

Nous avons suivi la transmission du mouvement dans la boîte de vitesses, à travers les différents organes de cette boîte *(pignons et arbres)* qui constituent une *chaîne cinématique.* Notez que dans l'adjectif cinématique, on retrouve le mot *cinéma* qui signifie *mouvement.*

Toutes les leçons doivent être conservées.

LA BOÎTE DE VITESSES (suite)

LES DISPOSITIFS DE VERROUILLAGE

Le déplacement des crabots ou des pignons baladeurs d'une boîte de vitesses est commandé par des *fourchettes* solidaires de *coulisseaux* qui sont actionnés par le levier de changement de vitesse. Chaque coulisseau est maintenu dans la position choisie par le conducteur *(point mort ou vitesse engagée)*, par des dispositifs de sécurité appelés verrouillages, identiques à ceux des boîtes de voitures de tourisme. Les trois types courants de verrouillages sont représentés sur la *figure* 1.

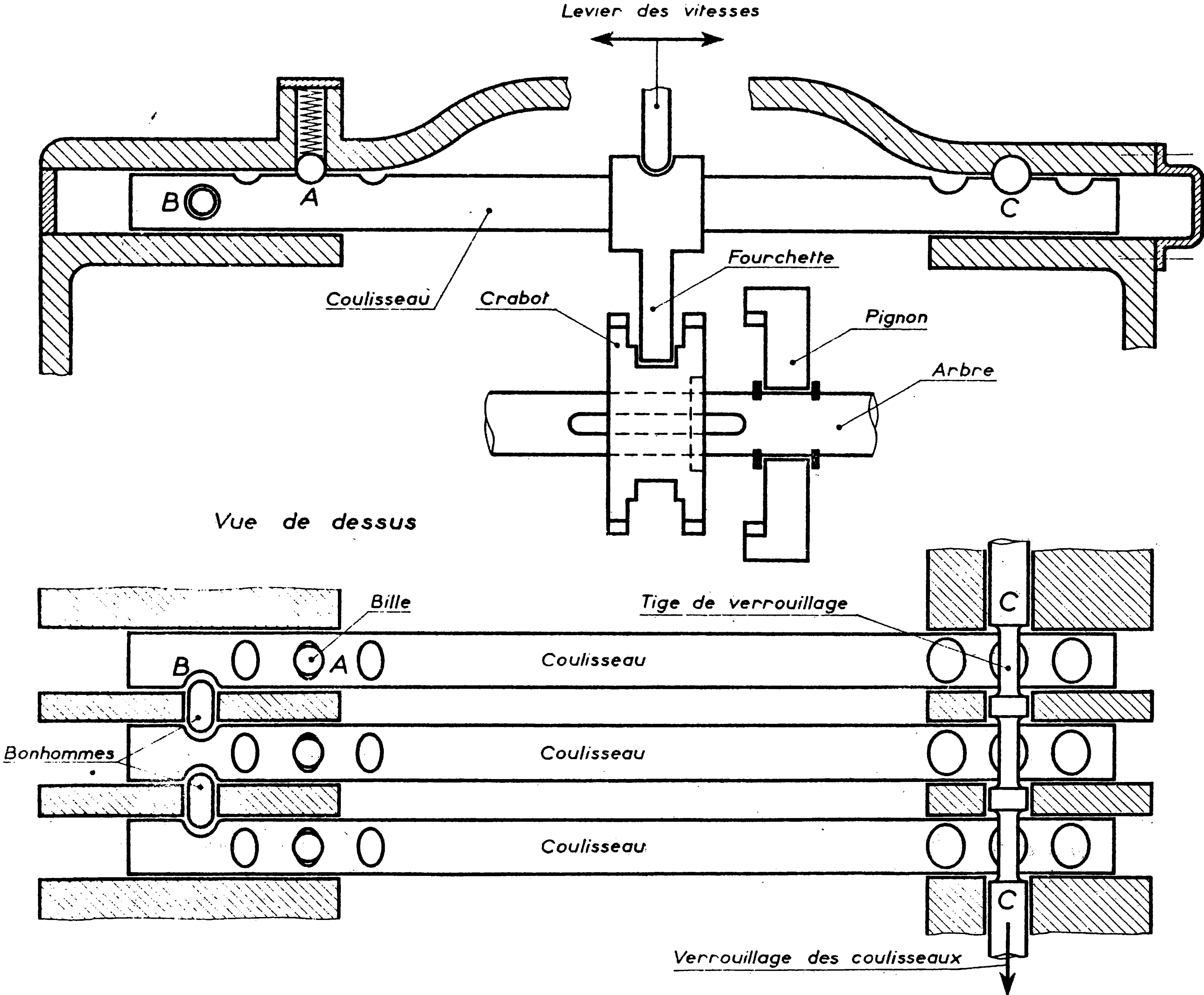


Fig. 1

Le verrouillage de positionnement

Le verrouillage de positionnement *(fig. 1 - A)* est assuré par un ressort qui fait pénétrer une bille *(fig. 2)* ou un bonhomme *(fig. 3)*, dans une des trois encoches taillées sur le coulisseau.

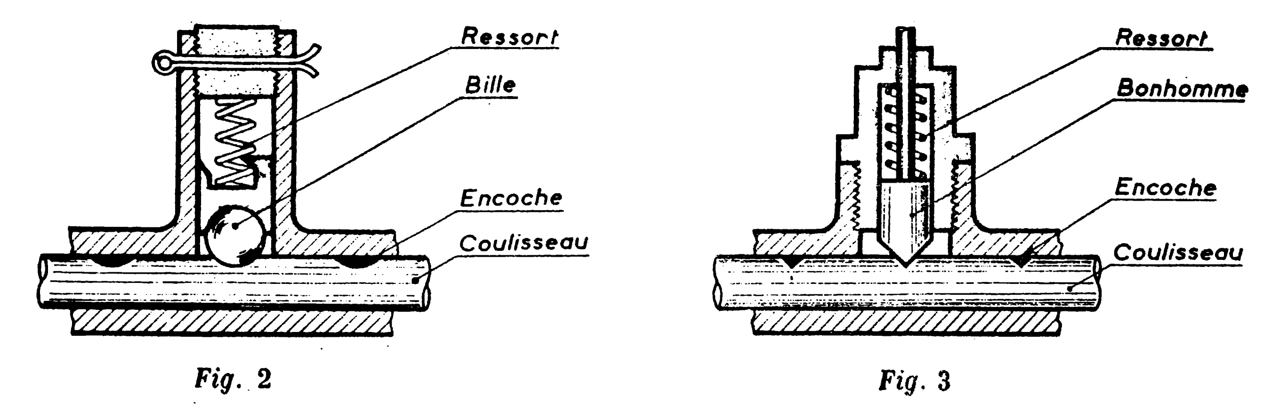


Fig. 2 *Fig.* 3

Le verrouillage de sélection

Le verrouillage de sélection *(fig. 1 - B)* ou interverrouillage des coulisseaux interdit l'engagement simultané de deux vitesses. Il est assuré par bonhomme ou par billes *(fig. 4)*.

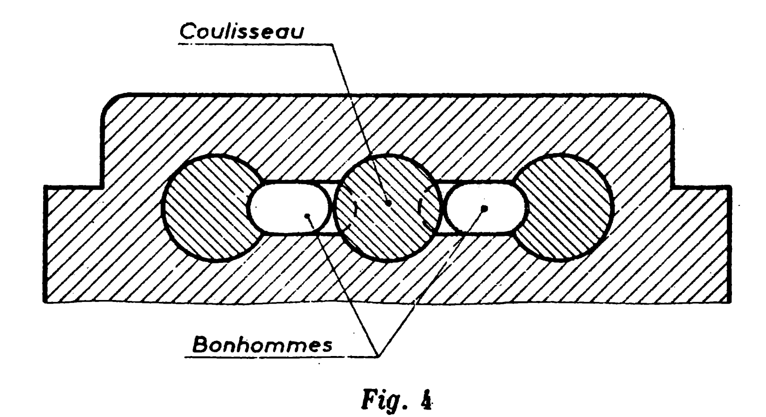


Fig. 4

Le schéma montre que seul le coulisseau central pourra être déplacé, les deux autres étant immobilisés par les bonhommes.

Le verrouillage supplémentaire

De nombreux constructeurs incorporent un dispositif supplémentaire de verrouillage *(fig. 1 - C)* constitué par une tige de verrouillage qui porte des évidements. Le déplacement de cette tige est commandé :

— soit par une tringlerie conjuguée avec le débrayage,
— soit par le cylindre émetteur d'une commande hydraulique de débrayage *(fig. 5)*.

Sur la *figure 5a*, les coulisseaux sont verrouillés.

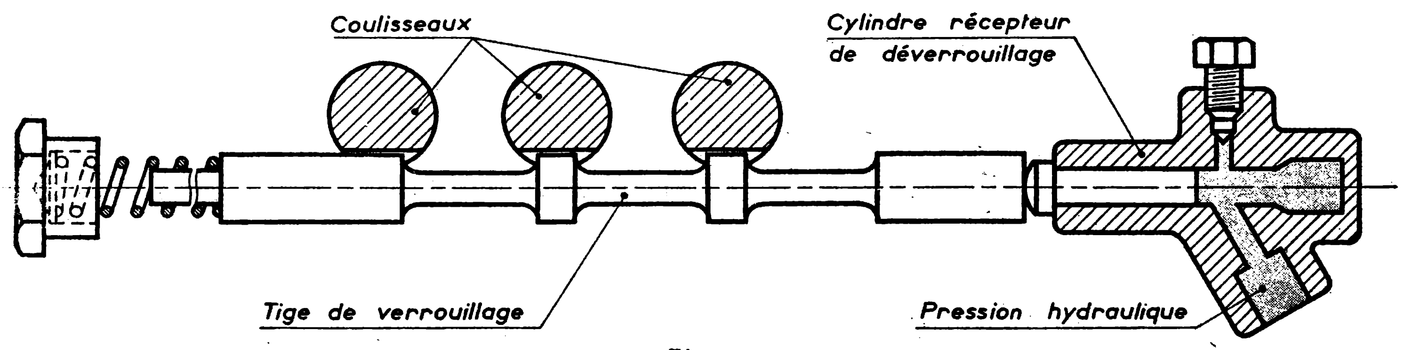


Fig. 5 *a*

Sur la *figure 5b*, les coulisseaux sont libérés et peuvent être manœuvrés.

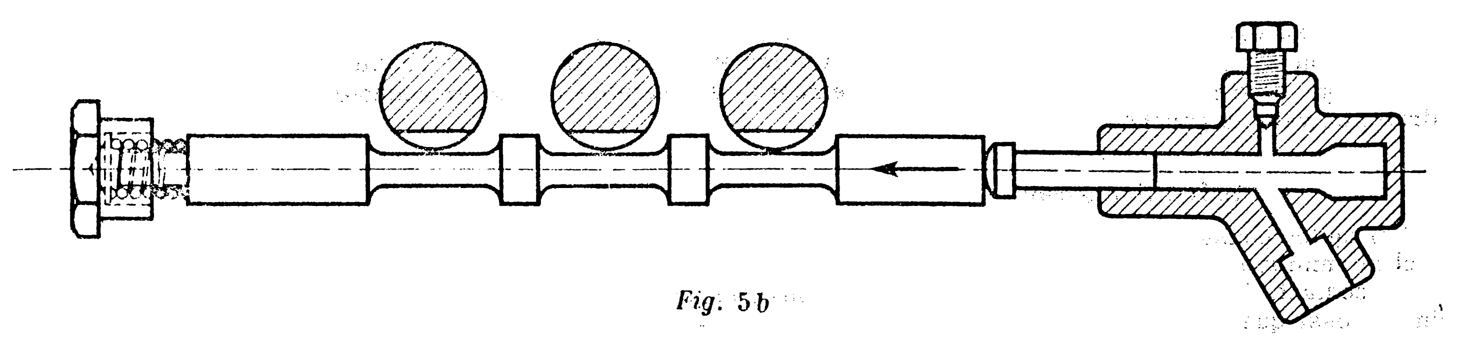


Fig. 5 b

LES CRABOTS SYNCHRONISÉS

Les crabots sont souvent équipés d'un dispositif synchroniseur appelé quelquefois *synchromesh* ou plus simplement *synchro*. Ce système qui permet, *avant crabotage*, de faire tourner *à la même vitesse angulaire* le pignon et l'arbre que l'on veut rendre solidaires :

— facilite le passage des vitesses et supprime l'obligation du double pédalage, d'où léger gain de temps, parfois fort utile au cours d'un changement de vitesse ;
— réduit l'usure et le bruit dus à une manœuvre maladroite.

La description

Sur l'arbre qui reçoit le mouvement, sont montés deux pignons A et B et le crabot proprement dit *(fig. 6)*.

Les pignons A et B

Les deux pignons A et B peuvent tourner librement sur l'arbre ; ils sont libres en rotation. Mais ils ne peuvent se déplacer le long de cet arbre ; ils sont fixes en translation. Ils sont engrenés avec les pignons fixes A_1 et B_1 de l'arbre intermédiaire. Ils comportent une denture de crabotage et un cône femelle.

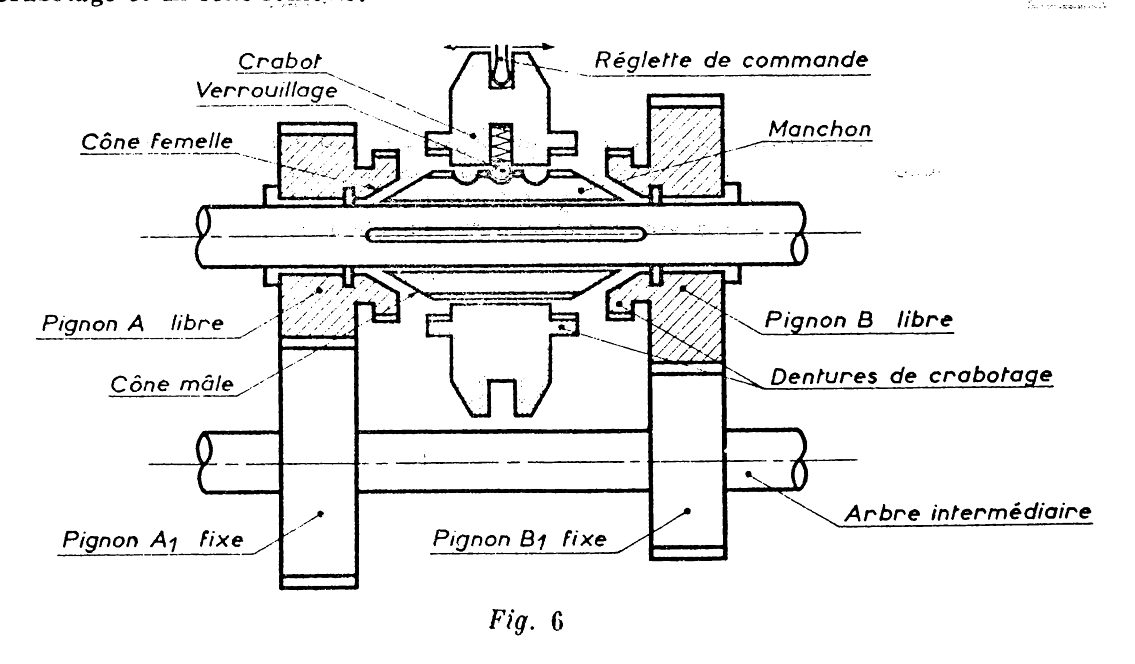


Fig. 6

Le crabot synchronisé

Le crabot synchronisé est monté sur la partie cannelée de l'arbre. Il comporte deux parties : le manchon et le crabot proprement dit.

— Le *manchon* est solidaire en rotation de l'arbre par les cannelures. Par contre, il est libre en translation puisqu'il peut coulisser. A chacune de ses extrémités, il porte un cône mâle. Sa partie cylindrique extérieure est cannelée.

— Le *crabot* est solidaire en rotation du manchon par les cannelures. Il est rendu solidaire en translation de ce manchon par un verrouillage à billes et ressort. Il comporte deux dentures de crabotage. Une réglette commande le déplacement de l'ensemble *(crabot-manchon)* vers la droite ou vers la gauche.

Le fonctionnement

Lorsqu'on pousse la réglette de commande à gauche *(fig. 7a)*, ou à droite, le cône mâle du manchon embraye avec le cône femelle du pignon, avant que les dentures de crabotage ne viennent en contact. L'ensemble solidaire *(arbre cannelé-manchon-crabot)* est alors entraîné à la même vitesse que le pignon A. La synchronisation des vitesses est donc assurée.

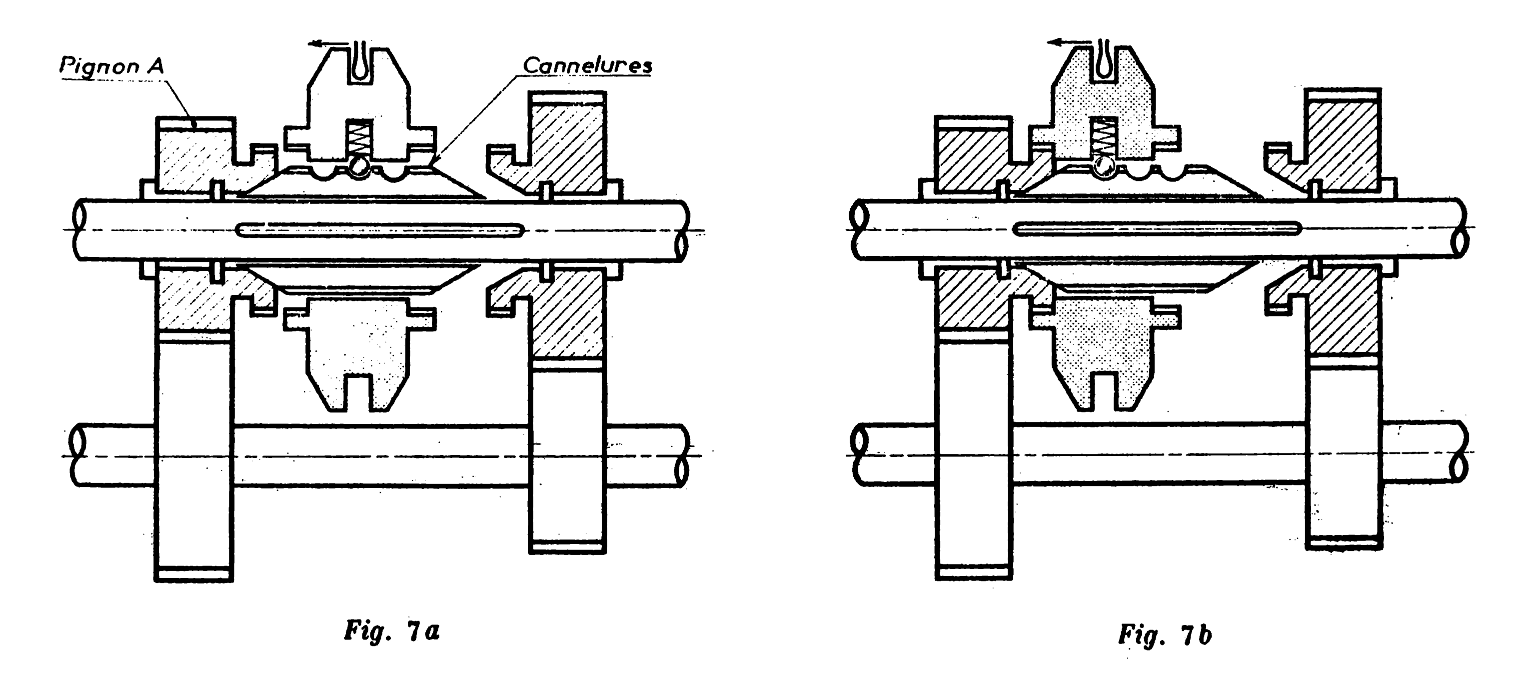


Fig. 7a　　*Fig. 7b*

En continuant l'effort de translation vers la gauche, les billes s'effacent dans leur logement. Le crabot, désolidarisé du manchon, continue son déplacement et sa denture vient en prise avec celle du pignon *(fig. 7b)*. Le crabotage est ainsi obtenu silencieusement et rapidement. Les billes retombent dans une autre encoche du manchon et assurent à nouveau le verrouillage.

Le calcul des différents rapports et des vitesses de rotation de l'arbre de sortie

En règle générale, la formule qui permet de calculer les différents rapports d'une boîte est la suivante :

$$\textit{Rapport des vitesses} = \frac{\textit{Produit des nombres de dents des pignons menants}}{\textit{Produit des nombres de dents des pignons menés}}$$

La formule qui permet de calculer les différentes vitesses de rotation de l'arbre de sortie quand on connaît la vitesse de l'arbre d'entrée est la suivante :

Vitesse de l'arbre de sortie = Vitesse de l'arbre d'entrée × Rapport des vitesses

Les vitesses démultipliées

— *Première vitesse* : Rapport des vitesses : $\frac{21 \times 12}{41 \times 43} \simeq 0,143$

Vitesse de l'arbre de sortie : $800 \times 0,143 = 114,4 \simeq 114$ tr/mn

— *Deuxième vitesse* : Rapport des vitesses : $\frac{21 \times 21}{41 \times 36} \simeq 0,299$

Vitesse de l'arbre de sortie : $800 \times 0,299 = 239,2 \simeq 239$ tr/mn

— *Troisième vitesse* : Rapport des vitesses : $\frac{21 \times 31}{41 \times 29} \simeq 0,548$

Vitesse de l'arbre de sortie : $800 \times 0,548 = 438,4 \simeq 438$ tr/mn

Ces trois vitesses sont démultipliées car l'arbre de sortie tourne moins vite que l'arbre d'entrée.

La prise directe

En enclenchant la quatrième vitesse, le crabot solidarise en rotation le pignon de 21 dents, l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie. On dit que cette vitesse est en prise directe.

— *Quatrième vitesse :* Rapport des vitesses : 1

Vitesse de l'arbre de sortie : $800 \times 1 = 800$ tr/mn

En prise directe, l'arbre de sortie tourne à la même vitesse que l'arbre d'entrée.

La vitesse surmultipliée

— *Cinquième vitesse* Rapport des vitesses : $\frac{21 \times 44}{41 \times 18} \simeq 1,252$

Vitesse de l'arbre de sortie : $800 \times 1,252 = 1001,6 \simeq 1001$ tr/mn

Cette vitesse est surmultipliée car l'arbre de sortie tourne plus vite que l'arbre d'entrée

La marche arrière

La marche arrière est obtenue par enclenchement d'un arbre portant deux pignons *(23 et 18 dents)*.

— Le pignon de 23 dents reçoit son mouvement du pignon de 12 dents porté par l'arbre intermédiaire.

— Le pignon de 18 dents engrène alors avec le pignon de 43 dents solidaire en rotation de l'arbre de sortie. Bien entendu, ce pignon n'est plus craboté avec le pignon de deuxième.

— *Marche arrière* : Rapport des vitesses : $\frac{21 \times 12 \times 18}{41 \times 23 \times 43} \simeq 0,112$

Vitesse de l'arbre de sortie : $800 \times 0,112 = 89,6 \simeq 90$ tr/mn

Remarque :

Lorsque les vitesses sont obtenues par le coulissement de pignons baladeurs, la denture des pignons correspondants est obligatoirement droite. Les dents sont biseautées du côté où se fait la prise de contact *(entrées des dents)*, de façon à faciliter l'engrènement.

Lorsque les vitesses sont obtenues par le coulissement de crabots, les pignons sont toujours en prise, ce qui permet de leur donner une taille hélicoïdale ; la boîte est alors moins bruyante.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LA BOÎTE DE VITESSES (suite)

LA BOÎTE A HUIT VITESSES, AVEC RELAIS

Certaines boîtes comportent un relais sur l'arbre d'entrée *(fig. 1)* ou sur l'arbre de sortie. Ce relais est constitué par un train de pignons qui multiplie ou réduit les rapports de la boîte. On double ainsi le nombre de vitesses fournies par la boîte proprement dite.

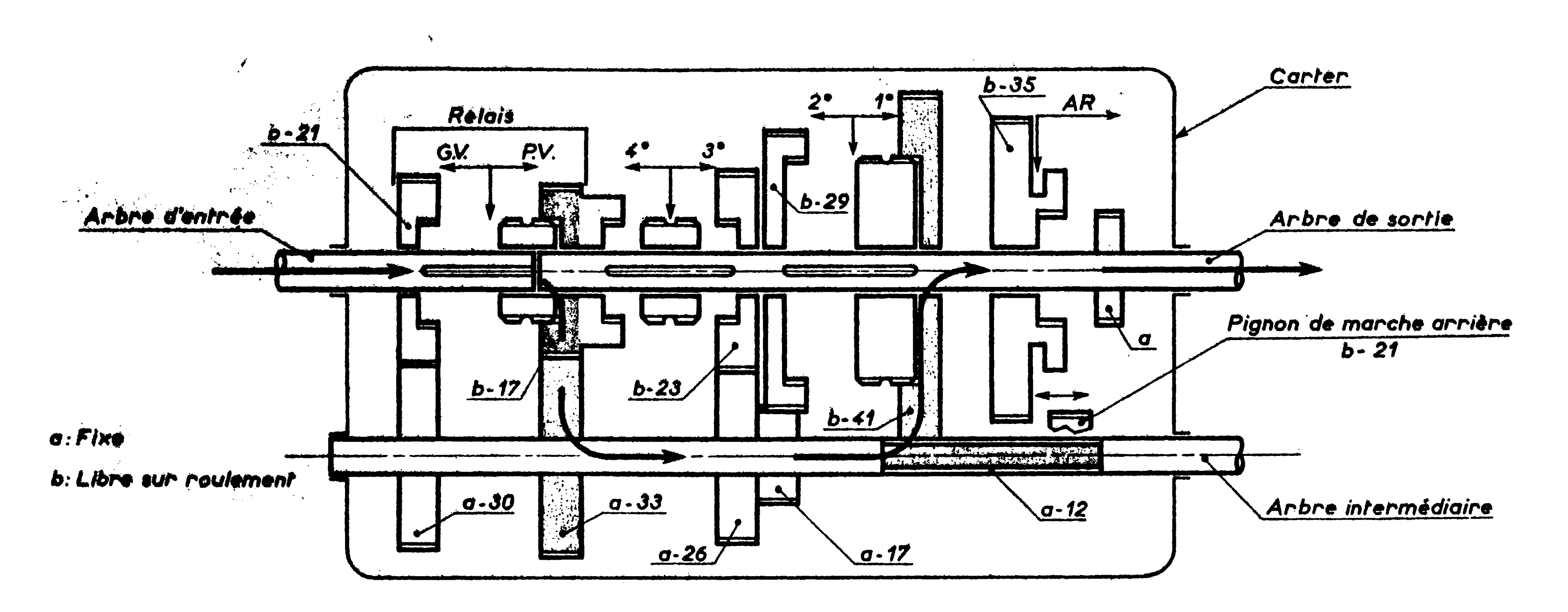


Fig. 1

Le calcul des différents rapports

Le calcul des différents rapports s'effectue comme dans la boîte étudiée précédemment.

— *En petite vitesse* (P. V.), seuls les pignons de 17 et 33 dents sont introduits dans la chaîne cinématique,

— *En grande vitesse* (G. V.), les deux autres pignons, de 21 et 30 dents, interviennent.

Les vitesses démultipliées

La boîte étudiée comporte six vitesses démultipliées.

— *Première vitesse* (P. V.) : $\frac{17 \times 12}{33 \times 41} = 0,151$

— *Deuxième vitesse* (ou première G. V.) : $\frac{21 \times 12}{30 \times 41} = 0,205$

— *Troisième vitesse* (ou deuxième P.V.) : $\frac{17 \times 17}{33 \times 29} = 0,302$

— *Quatrième vitesse* (ou deuxième G.V.) : $\frac{21 \times 17}{30 \times 29} = 0,410$

— *Cinquième vitesse* (ou troisième P.V.) : $\frac{17 \times 26}{33 \times 23} = 0,583$

— *Sixième vitesse* (ou troisième G.V.) : $\frac{21 \times 26}{30 \times 23} = 0,792$

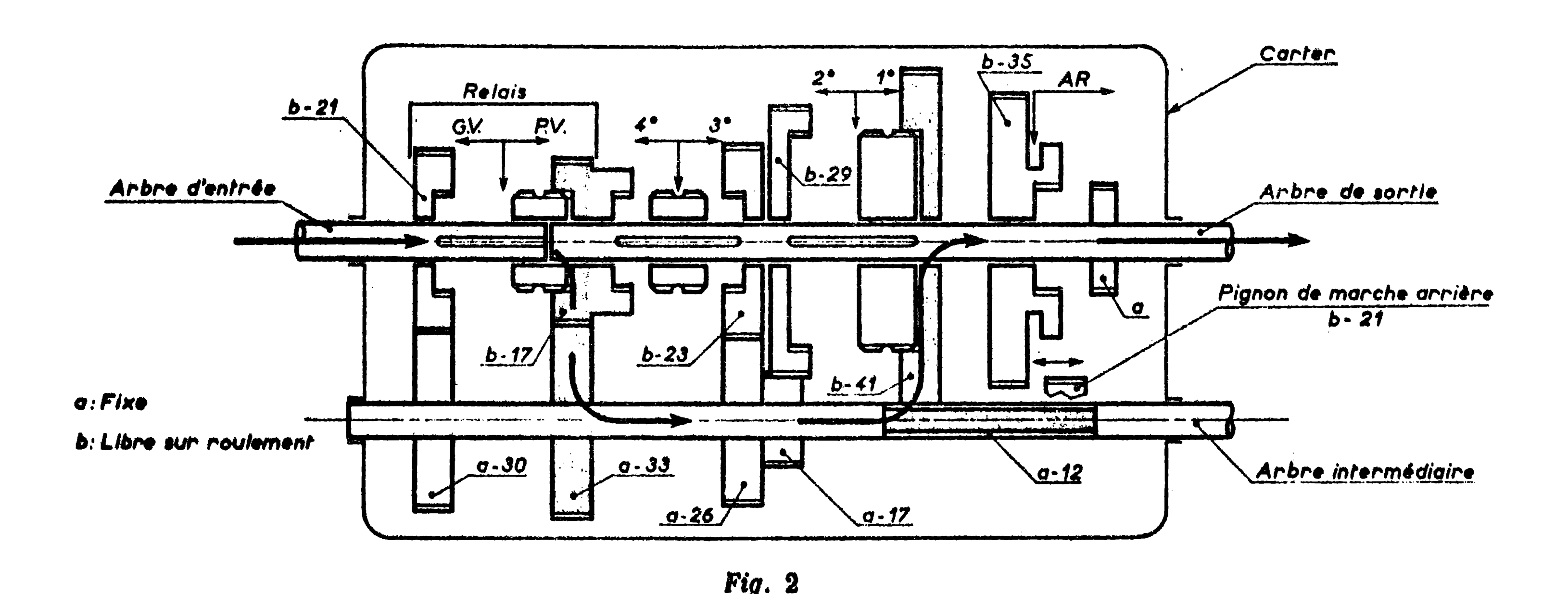


Fig. 2

La prise directe

Dans cette boîte *(fig. 2)*, la prise directe est la septième vitesse.

— *Septième vitesse* (ou quatrième P.V.) : 1

La vitesse surmultipliée

Dans cette boîte, seule la huitième vitesse est surmultipliée.

— *Huitième vitesse* (ou quatrième G.V.) : $\frac{21 \times 33}{30 \times 17} = 1,36$

Les marches arrière

La présence du relai permet de disposer de deux rapports différents, *en marche arrière.*

— *Marche arrière* (P.V.) : $\frac{17 \times 12 \times 21}{33 \times 21 \times 35} = 0,17$

— *Marche arrière* (G.V.) : $\frac{21 \times 12 \times 21}{30 \times 21 \times 35} = 0,24$

LES BOÎTES DE TRANSFERT SIMPLES

En fonction d'utilisations particulières *(chantiers, tous terrains)*, on a été amené à construire des véhicules poids lourds dont les roues avant et les roues arrière sont motrices.

Remarques :

1° Pour certains véhicules qui comportent deux ponts arrière, la boîte de transfert possède deux arbres de sortie arrière reliés chacun à un des ponts.

2° Dans d'autres véhicules à deux ponts arrière, la boîte de transfert ne possède qu'un seul arbre de sortie relié au premier pont. La liaison avec le deuxième pont est assurée par un différentiel placé entre les ponts. Nous reverrons cette question ultérieurement.

LES PRISES DE MOUVEMENT

Dans de nombreux types de véhicules poids lourds, il est nécessaire de pouvoir utiliser la puissance fournie par le moteur, pour une fonction autre que la mise en mouvement du véhicule, par exemple pour l'entraînement :

— de treuils divers pour remorquage ou levage,
— d'un compresseur hydraulique pour la manœuvre d'une benne, sur un camion-benne, ou d'une grue, sur un camion-grue,
— d'un malaxeur à ciment, sur un porte-malaxeur,
— de pompes pour citernes diverses ou véhicules-incendie,
— de balais et de pompes, sur les arroseuses de voirie,

etc ...

Le montage des prises de mouvement

Un même véhicule peut comporter une ou plusieurs prises de mouvement qui pourront être utilisées aussi bien lorsque le véhicule est à l'arrêt que lorsqu'il est en mouvement. Les prises de mouvement peuvent être situées :

— entre l'embrayage et l'entrée de la boîte de vitesses,
— sur la boîte de vitesses, sur la partie avant ou sur la partie arrière de l'arbre intermédiaire, ou encore sur un pignon de cet arbre,
— sur la boîte de transfert *(fig. 4)*.

Selon la vitesse désirée pour la prise de mouvement, on peut utiliser un montage en prise directe *(fig. 4)* ou un train de pignons pour augmenter ou diminuer la vitesse de rotation *(avec un crabot)*.

Remarque :

La boîte de transfert équipée d'une prise de mouvement doit comporter obligatoirement une position *point mort* (P.M.), de façon à éviter la transmission du mouvement vers les ponts lorsqu'on veut utiliser la prise de mouvement, le véhicule étant à l'arrêt.

LES AUTRES TYPES DE BOÎTES

Certains types de boîtes, sont équipés de servo-assistance de passage des vitesses, commandée par air comprimé.

D'autres systèmes diffèrent complètement de ce que nous venons d'étudier ; ce sont les boîtes dites à trains épicycloïdaux *(Cotal, Wilson, Allison)*. Leur étude très complexe dépasse le cadre de ce cours.

Il est souvent intéressant de disposer de deux possibilités d'entraînement, soit par les roues arrière seules, soit par les roues avant et arrière en même temps. La boîte de transfert *(fig. 3)* offre ces deux possibilités. Elle comporte :

— *un arbre d'entrée* entraîné par l'arbre de sortie de la boîte de vitesses;
— *un arbre intermédiaire,*
— *deux arbres de sortie* reliés, l'un au pont arrière, l'autre au pont avant par un crabot.

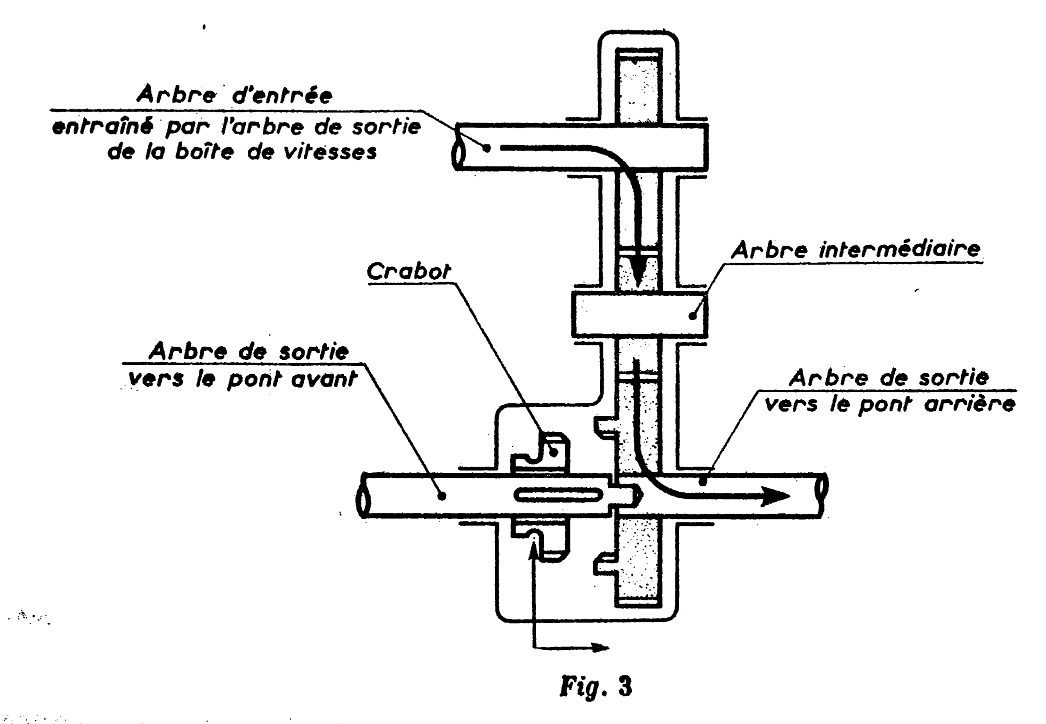


Fig. 3

LES BOÎTES DE TRANSFERT A DEUX VITESSES

Souvent, les boîtes de transfert comportent deux rapports de vitesse et jouent ainsi le rôle de démultiplicateur *(fig. 4)*, ce qui double le nombre de vitesses de la boîte normale.

— La *grande vitesse* est souvent réservée à l'entraînement par les roues arrière seules. Dans ce cas, en manœuvrant le coulisseau, on crabote la grande vitesse et on décrabote le pont avant.

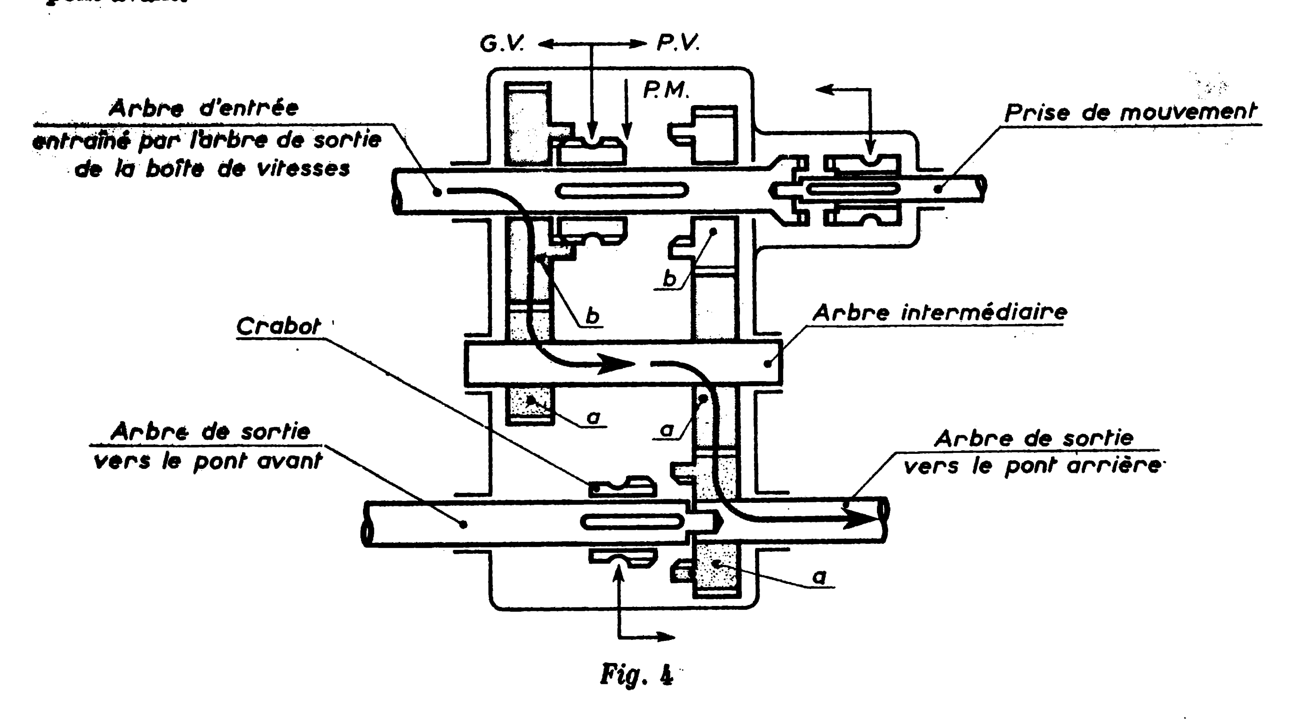


Fig. 4

— La *petite vitesse* correspond, en général, à l'entraînement des roues avant et arrière.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LA TRANSMISSION LONGITUDINALE ENTRE LA BOÎTE ET LE PONT

LES CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANSMISSION LONGITUDINALE

Le mouvement de l'arbre de sortie de la boîte de vitesses *(ou de la boîte de transfert)* doit être transmis au pont qui n'est pas fixé directement au châssis, mais relié au moyen d'une liaison élastique constituée par les ressorts de suspension *(fig. 1)*.

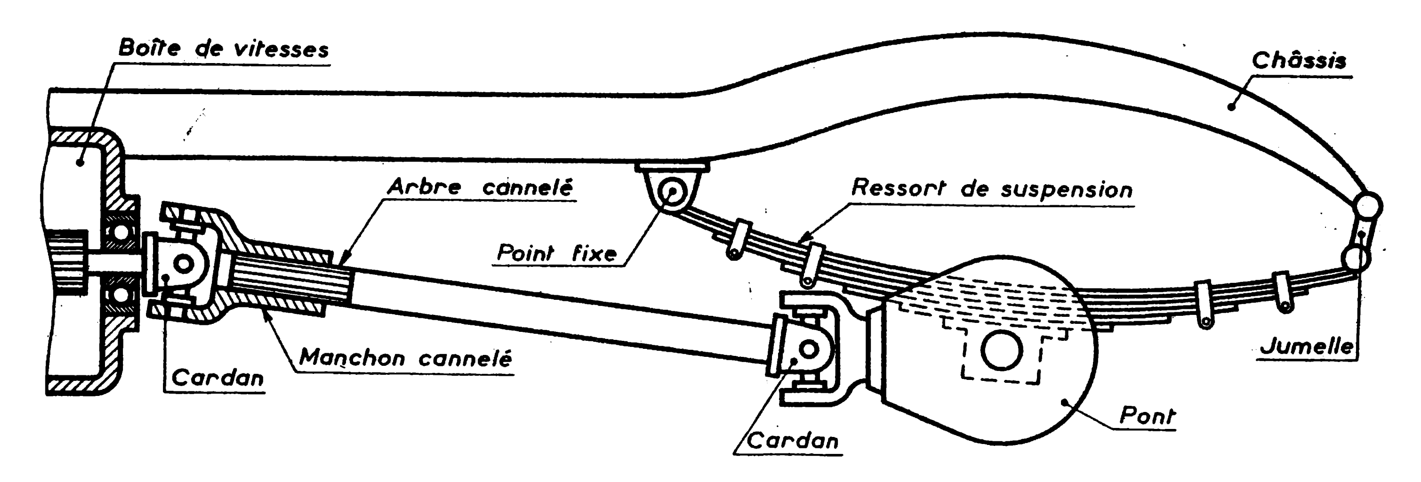


Fig. 1

Pour permettre leur allongement quand ils sont bandés, les ressorts sont articulés sur des jumelles. Il en résulte que le pont se déplace par rapport au châssis, en hauteur et en extension, sous l'effet des variations de charge et des inégalités de la route. La boîte et le pont ne sont donc jamais situés dans un même plan, horizontal ou vertical. La boîte étant fixe et le pont mobile, ces deux organes ne peuvent être liés mécaniquement de façon rigide. L'arbre de transmission devra donc permettre des variations linéaires et angulaires.

Les *variations linéaires*, c'est-à-dire les variations de longueur de la transmission, sont rendues possibles par des cannelures mâles et femelles placées à l'une ou l'autre des extrémités de l'arbre *(fig. 1 et 2)*.

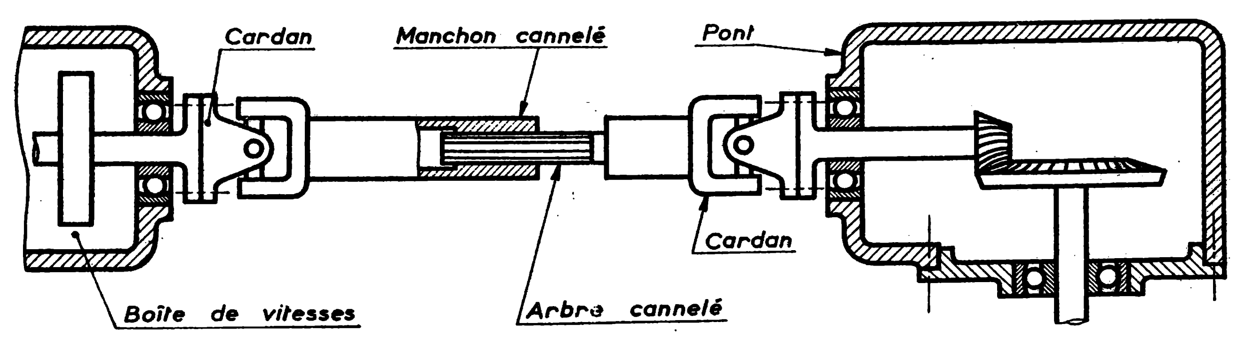


Fig. 2

Les *variations angulaires* exigent l'utilisation de joints déformables. Plusieurs dispositifs sont montés sur les véhicules poids lourds :

— *le joint souple élastique,* assez peu utilisé et réservé aux véhicules de faible tonnage,
— *le joint de cardan* à croisillon, le plus employé,
— *le joint de Hooke.*

LE JOINT SOUPLE ÉLASTIQUE

Le joint souple élastique, genre *Hardy* ou *Flector*, est très simple *(fig. 3)* mais peu résistant. Il est rarement utilisé, seulement sur des véhicules où la transmission présente des variations angulaires peu importantes et sur lesquels l'effort à transmettre est relativement peu élevé.

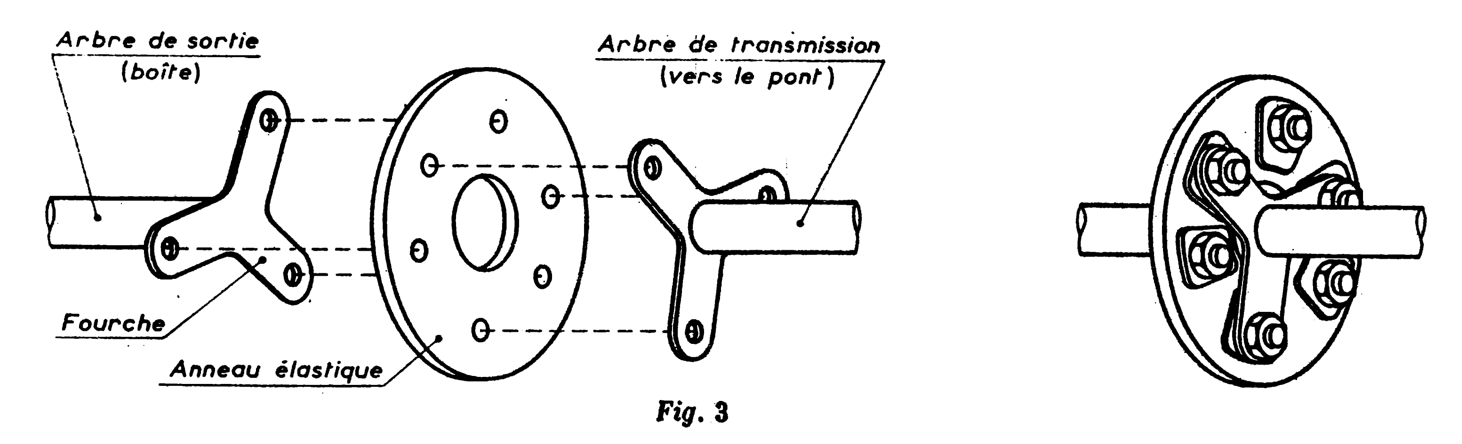


Fig. 3

C'est un montage basé sur la déformation d'un anneau élastique placé entre deux fourches d'entraînement.

LE JOINT DE CARDAN

Le joint de cardan est le plus courant. C'est un joint à croisillon, entièrement métallique. Chacune des extrémités des arbres à réunir est munie d'une fourche à deux bras *(fig. 4)*. Chacun des bras se termine par un tourillon formé par un roulement à aiguilles.

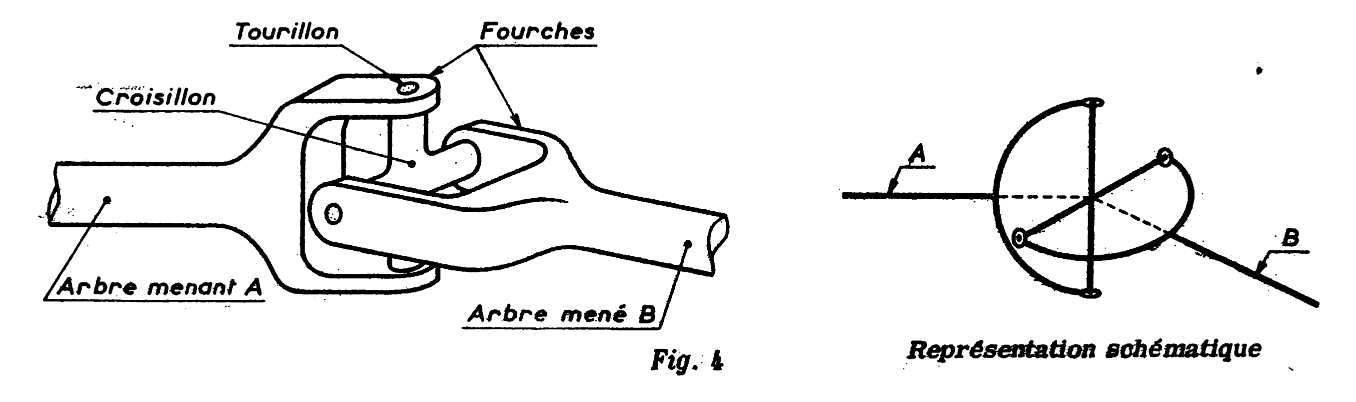


Fig. 4 *Représentation schématique*

Les quatre tourillons viennent s'articuler, suivant deux axes perpendiculaires, sur un croisillon. L'arbre *menant* A et l'arbre *mené* B peuvent donc prendre, l'un par rapport à l'autre, une infinité de positions. L'angle formé par les deux arbres peut, dans certains cas particuliers, atteindre 30 degrés ; mais, le plus souvent, l'angle d'utilisation ne dépasse pas 20 degrés.

LE DÉFAUT DU JOINT SOUPLE ET DU JOINT DE CARDAN

Le joint souple et le joint de cardan simple n'assurent pas une transmission *homocinétique* (1), c'est-à-dire que l'arbre menant et l'arbre mené n'ont pas la même vitesse instantanée, bien que leurs vitesses moyennes soient identiques.

(1) *HOMOCINETIQUE :* de *homo :* semblable et *cinétique :* mobile.

La vitesse de l'arbre menant est constante.

La vitesse de l'arbre mené varie périodiquement et passe, à chaque tour, par deux maxima et deux minima.

— Si l'on fait tourner l'arbre menant A *(fig. 4)* très exactement d'un quart de tour, l'arbre mené B parcourt un peu plus d'un quart de tour.

— Si l'arbre menant A parcourt un deuxième quart de tour, dans le même sens de rotation, l'arbre mené B parcourt un peu moins d'un quart de tour et ainsi de suite, pour chaque demi-tour.

— Pour un tour complet de l'arbre menant A, l'arbre mené B fait exactement un tour ; mais les vitesses instantanées des deux arbres sont différentes. De ce fait, le mouvement de l'arbre mené comporte des accélérations et des décélérations par rapport à l'arbre menant.

L'écart des vitesses instantanées est d'autant plus grand que l'angle d'inclinaison de la transmission est plus élevé. Si l'angle des deux arbres a une valeur importante, ces écarts entraînent des fatigues de torsion alternée et des à-coups dans la transmission, pouvant aller jusqu'à la rupture.

Exemple

Lorsque l'arbre menant A tourne à une vitesse constante de 2 000 tours par minute, la vitesse de rotation de l'arbre mené varie, par exemple :

— de 1 880 à 2 126 tours par minute, pour un angle de 20 degrés,
— de 1 732 à 2 309 tours par minute, pour un angle de 30 degrés
— de 1 532 à 2 609 tours par minute, pour un angle de 40 degrés.

Dans ces exemples, il y aurait impossibilité absolue d'assurer la transmission.

LE JOINT DE HOOKE

Le joint de Hooke remédie au défaut d'homocinétie. Il est constitué par deux joints de cardan qui doivent être associés de façon bien définie et impérative :

— Les arbres reliés par la transmission, c'est-à-dire l'arbre de sortie de la boîte et l'arbre d'entrée du pont, doivent être sensiblement parallèles.

— Les deux fourches des extrémités doivent obligatoirement être situées dans le même plan *(fig. 5)*.

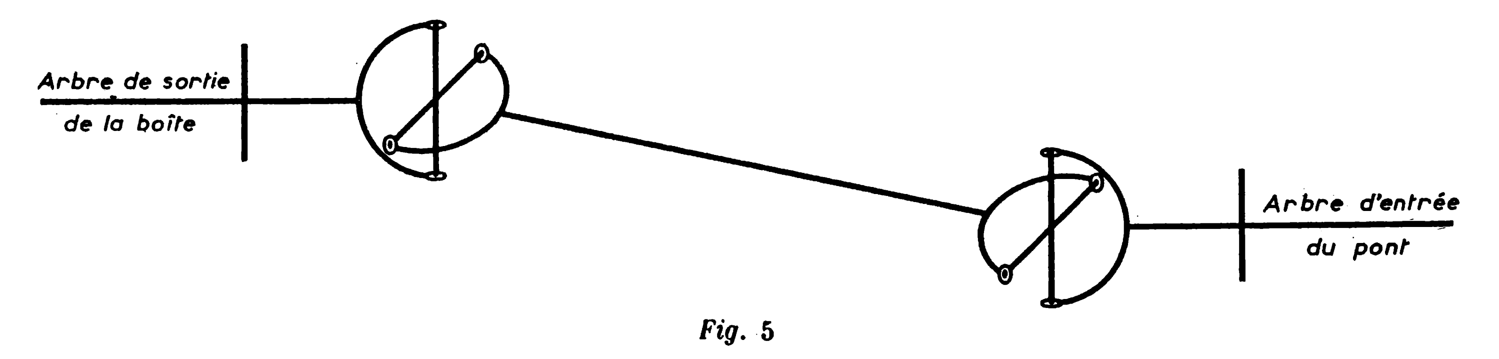


Fig. 5

Si ces deux conditions sont réalisées, on obtient un ensemble homocinétique ; il y a conformité des vitesses instantanées sur l'arbre de sortie de la boîte et l'arbre d'entrée du pont.

<u>*Remarques*</u> :

1° Avant de remonter un arbre de transmission, il est indispensable de vérifier le parallélisme des fourches. En effet, si la partie coulissante a été retirée et remontée ensuite avec un écart de une ou plusieurs cannelures, les fourches ne sont plus alignées. Il se produit des irrégularités dans la transmission du mouvement qui occasionnent des vibrations, d'où risque de rupture. En général, des flèches repères sont gravées sur le manchon à coulisse et sur l'embout coulissant, ce qui permet de contrôler facilement l'alignement des mâchoires.

2° Il faut vérifier également que le coulissement, en plus et en moins, est suffisant dans les conditions extrêmes de fonctionnement :

— *Si le coulissement est trop court,* l'embout à cannelures risque de déboîter de son coulisseau.

— *Si le coulissement est trop long,* il y aura talonnage en butée, à fond de course.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LA TRANSMISSION LATÉRALE DANS LE PONT AVANT

Pour les véhicules équipés d'un pont avant, la transmission longitudinale *(entre la boîte de transfert et le pont)* est assurée par un arbre muni d'un joint de cardan à chacune de ses extrémités. C'est la solution la plus répandue, car c'est la plus économique. Mais, dans le pont avant lui-même, le mouvement doit être transmis à chaque roue.

LES CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANSMISSION LATÉRALE

La transmission latérale doit résoudre deux problèmes simultanés.

— *Elle doit permettre l'orientation des roues avec des angles de braquage importants* jusqu'à 40 degrés dans certains cas. Cette orientation est obtenue par une fusée creuse commandée par le système de direction *(fig. 1)*. Cette fusée tourillonne sur des pivots solidaires de la trompette de pont.

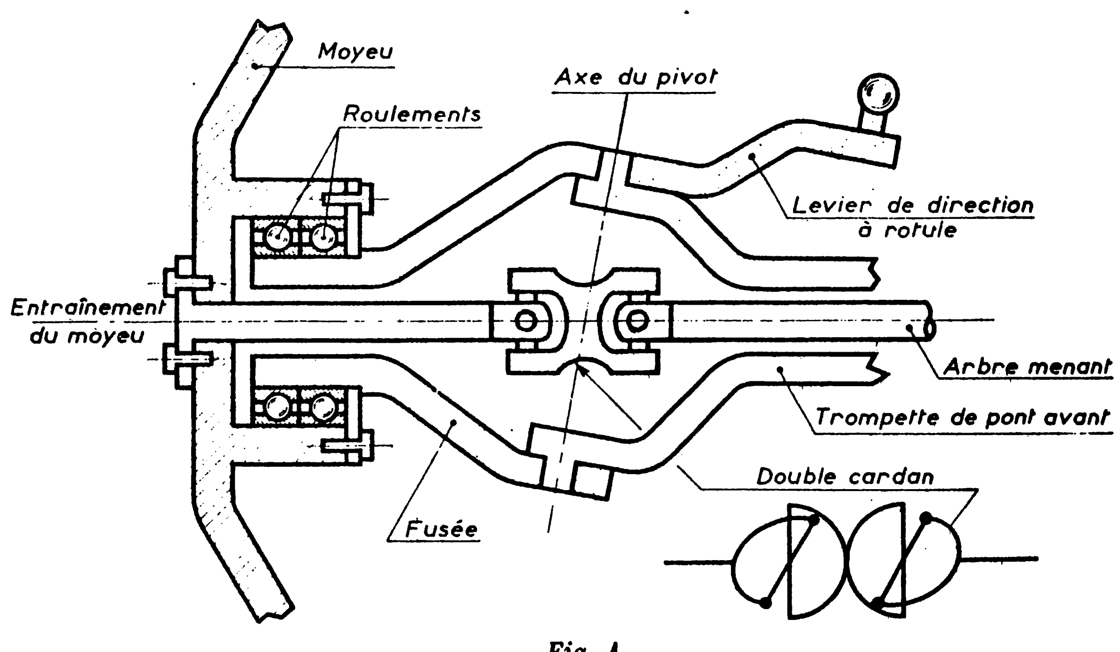


Fig. 1

— *Elle doit assurer la transmission du mouvement aux roues.* Du fait des grands débattements angulaires des roues, il est indispensable de monter des joints parfaitement homocinétiques, sur l'arbre de transmission de chaque roue. Leur centre d'articulation doit être situé à l'aplomb de l'axe de pivotement des roues.

Plusieurs types de joints sont utilisés, les plus connus étant :

— le double joint de cardan accolé,
— le joint extensible *Bouchard*,
— le joint sphérique à billes *Rzeppa*.

LE DOUBLE JOINT DE CARDAN

Le double joint de cardan comporte deux joints simples accouplés par boulons, ou formant une seule pièce *(fig. 2)*. Les cannelures, formant partie coulissante, sont obligatoirement taillées du côté du différentiel du pont.

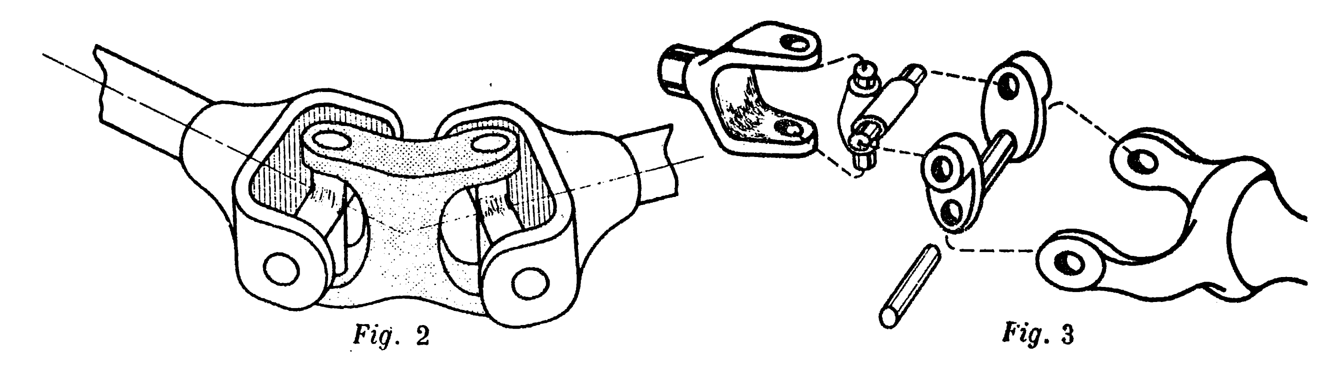


Fig. 2 — *Fig.* 3

Un autre système de cardan extensible *(fig. 3)* associé à un double joint de cardan évite l'obligation de tailler des cannelures coulissantes.

LE JOINT EXTENSIBLE BOUCHARD

Le joint extensible *Bouchard* est composé de deux fourches, comportant chacune deux roulements, dans lesquels viennent tourillonner deux croisillons séparés, les deux axes étant parallèles, contrairement aux joints de cardan classiques. Les croisillons ont chacun un axe perpendiculaire aux deux axes précités, cet axe venant s'articuler dans un roulement de croisillon opposé *(fig. 4 a et 4 b)*.

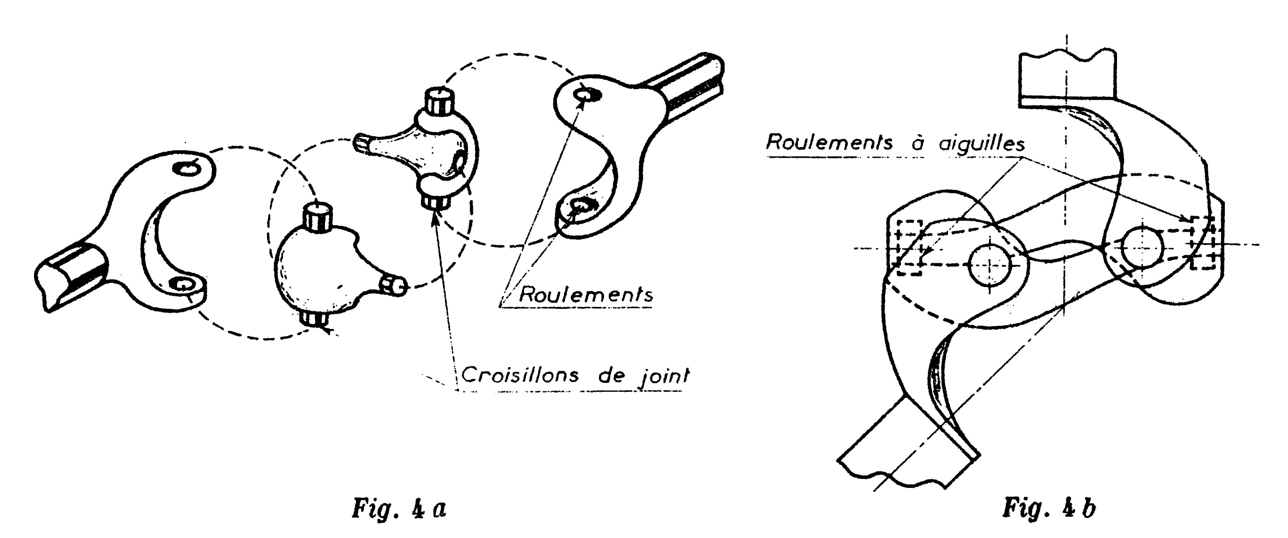


Fig. 4 a — *Fig. 4 b*

Cette disposition, qui n'a qu'un lointain rapport avec le double joint de cardan, assure une homocinétie parfaite aux grands débattements angulaires et ne nécessite pas de cannelures coulissantes.

LE JOINT RZEPPA

Le joint Rzeppa est articulé sur rotule sphérique. Il comporte six billes qui assurent la liaison et qui sont :

— d'une part, emprisonnées latéralement dans une cage à six alvéoles ;
— d'autre part, solidaires de l'arbre menant et de l'arbre mené par contact avec des gorges sphériques taillées dans les rotules.

Ces billes restent constamment dans le plan de l'articulation *(fig. 5a et 5b)*, ce qui permet une grande angularité et une transmission parfaitement homocinétique, sans arbre coulissant.

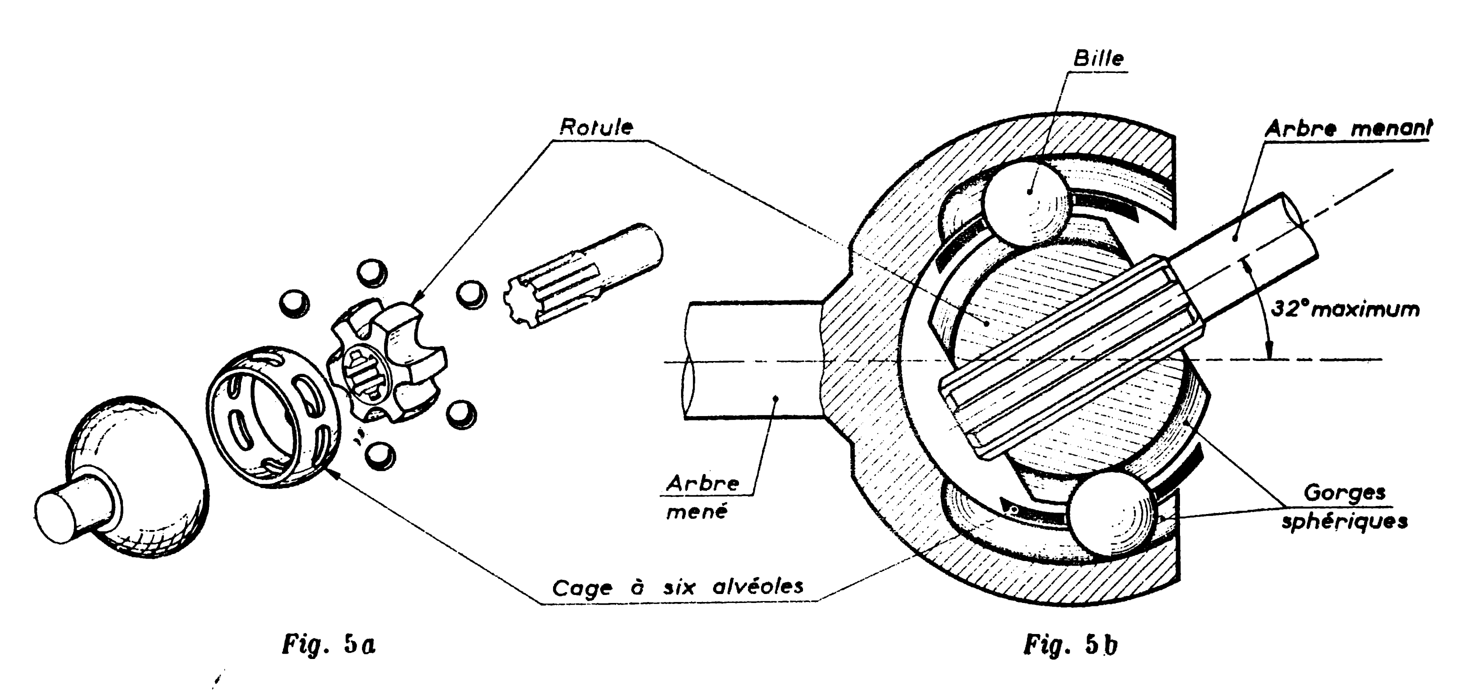


Fig. 5a

Fig. 5b

Ce joint a l'inconvénient d'un prix de revient élevé, en raison de l'usinage minutieux et complexe des rotules et des rainures sphériques.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE PONT

Le pont transmet le mouvement de l'arbre de transmission aux roues. Il doit comporter :

— un mécanisme qui assure une démultiplication du mouvement ;
— un différentiel qui permette aux roues de tourner à des vitesses différentes, surtout dans les virages.

Tous les organes du pont sont contenus dans un carter appelé *corps de pont.*

LE CORPS DE PONT

Le corps de pont supporte la charge et fait office de carter pour le dispositif de démultiplication, le différentiel et les arbres de roues. La rigidité est la qualité essentielle du corps de pont avant ou arrière, car il subit des efforts de flexion et de torsion. Il comporte *(fig. 1)*:

— *deux trompettes*, avec leur semelle de fixation des ressorts,
— *le carter* proprement dit qui constitue le support du dispositif de démultiplication et du différentiel.

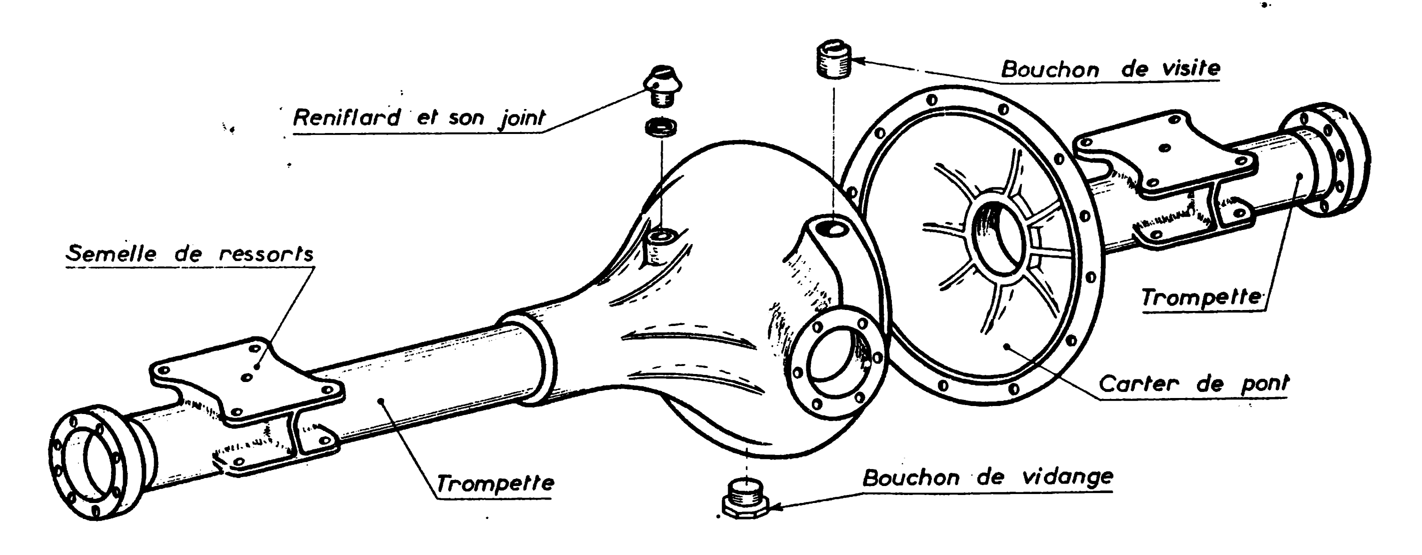


Fig. 1

La réalisation du corps de pont est différente, suivant le tonnage du véhicule et le mécanisme de démultiplication qui, nous le verrons, peut être simple ou double.

— Dans un pont à simple démultiplication, tous les organes sont contenus dans un carter unique *(fig. 1)*.

(VOIR AU VERSO)

— Dans un pont à double démultiplication, c'est un carter indépendant ou *tête de pont* qui contient les organes démultiplicateurs et le différentiel. Ce carter est fixé, par boulons ou goujons, sur la cuve de pont *(fig. 2)*.

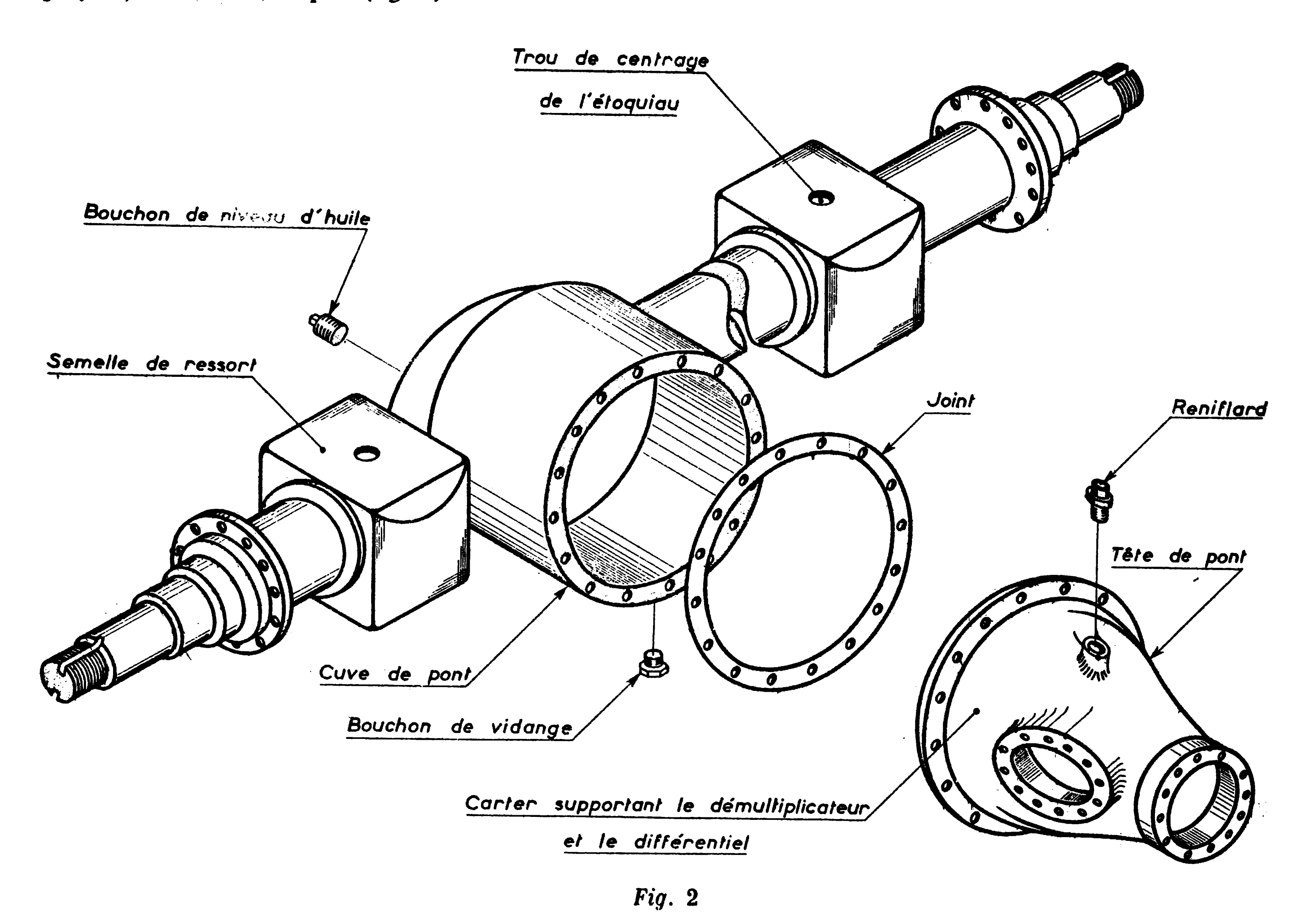


Fig. 2

Ce type de pont équipe un grand nombre de poids lourds, car il permet de démonter les mécanismes, tout en laissant le véhicule reposer normalement sur ses roues.

LE MÉCANISME DE DÉMULTIPLICATION

Il est nécessaire de prévoir une démultiplication entre l'arbre de transmission et les roues. En effet, le régime normal des moteurs actuels de poids lourds se situe aux environs de 2 000 à 2 500 tours par minute. Si la boîte de vitesses est en prise directe, l'arbre de transmission tourne également à cette vitesse, qu'il n'est pas possible de communiquer directement aux roues car, en supposant qu'elles aient 1 mètre de diamètre, il faudrait admettre que le véhicule se déplace à une vitesse horaire de plus de 360 kilomètres, ce qui est impensable.

LES PONTS A SIMPLE DEMULTIPLICATION

Les ponts à simple démultiplication utilisés sur les camions sont réalisés et fonctionnent comme ceux des véhicules de tourisme, mais leur construction est plus robuste. Les trois types les plus courants sont le pont à pignon conique et couronne, le pont à vis sans fin et couronne, le pont hypoïd.

Le pont à pignon conique et couronne

Le pignon conique, appelé pignon d'attaque, reçoit le mouvement de l'arbre de transmission et il engrène avec une couronne conique *(fig. 3)* qui entraîne les arbres de roues par l'intermédiaire du différentiel, dont le boîtier, ou carter, est fixé sur la couronne.

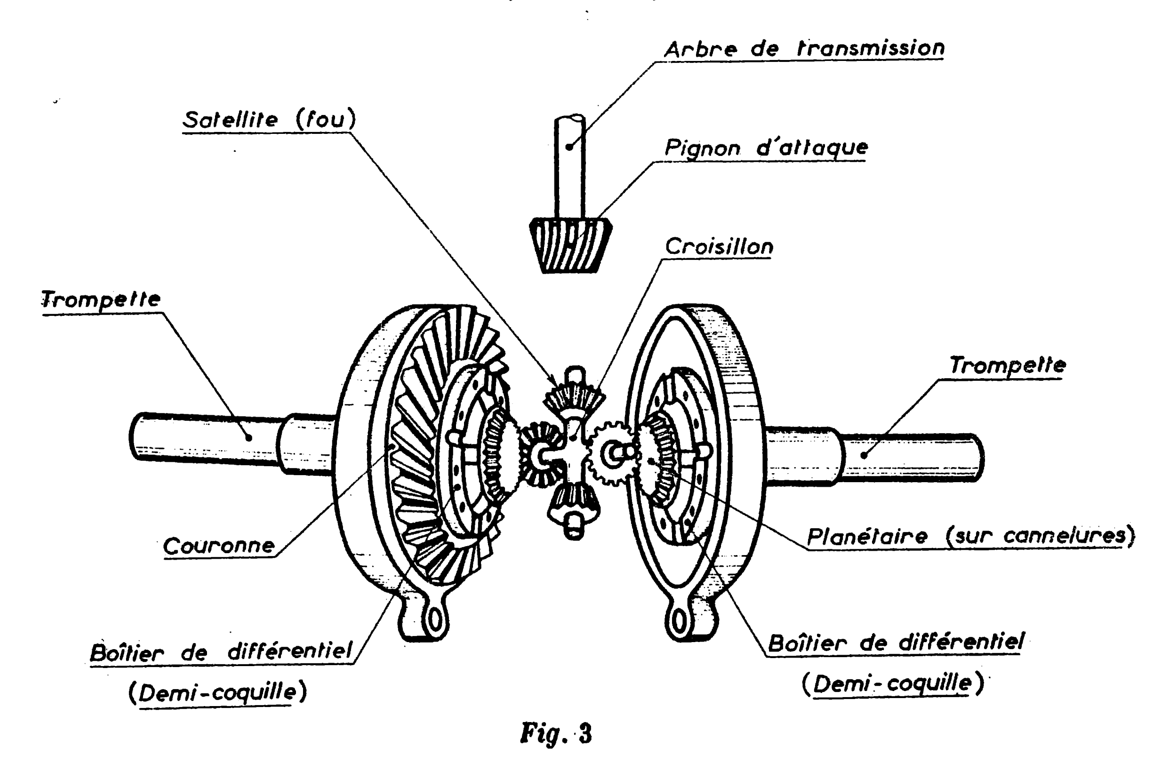


Fig. 3

Le rapport de démultiplication du pont se calcule en appliquant la formule suivante :

$$Rapport = \frac{\text{Nombre de dents du pignon d'attaque}}{\text{Nombre de dents de la couronne.}}$$

Ainsi, avec un pignon d'attaque de 7 dents et une couronne de 35 dents, le rapport de démultiplication est de : $\frac{7}{35} = \frac{1}{5}$. Les roues motrices feront 1 tour pour 5 tours du pignon d'attaque.

Le pont à vis sans fin et couronne

Dans ce modèle, l'arbre de transmission est solidaire d'une vis sans fin qui engrène avec une couronne, roue creuse à denture hélicoïdale *(fig. 4)*. La vis sans fin comporte en général trois ou quatre filets, ce qui permet d'obtenir une grande démultiplication, sans que le diamètre de la couronne soit excessif.

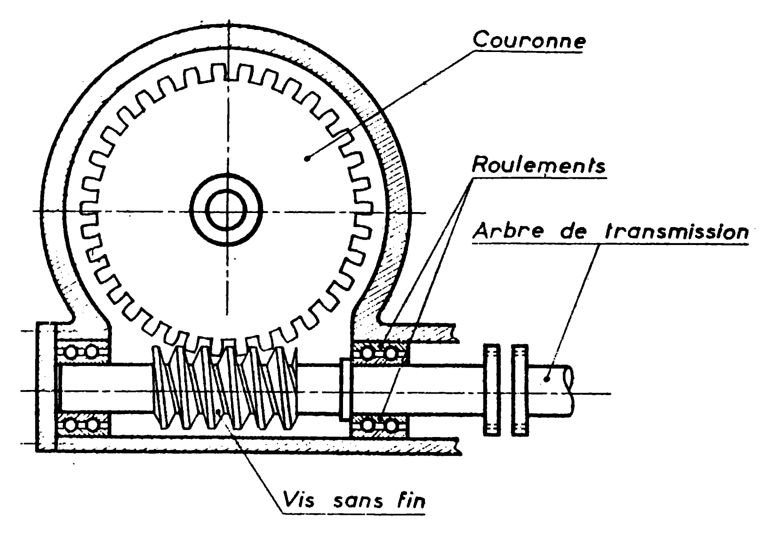


Fig. 4

Le rapport de démultiplication de ce pont se calcule en appliquant la formule suivante :

$$\text{Rapport} = \frac{\text{Nombre de filets de la vis}}{\text{Nombre de dents de la couronne}}$$

Remarque :

Il faut que cette transmission soit réversible car les arbres de roues peuvent être menants ou menés :

— *menés,* lorsque c'est le moteur qui entraîne le véhicule ;
— *menants,* lorsque le moteur est au ralenti et que le véhicule est en descente.

En pratique, l'inclinaison des filets de la vis est voisine de 45 degrés, pour permettre la réversibilité.

Le pont hypoïd

Le pont hypoïd *(ou hypoïde)* est un pont à pignon d'attaque et couronne coniques, mais l'axe du pignon d'attaque est décalé, par rapport à l'axe horizontal de la couronne afin d'abaisser la position de l'arbre de transmission *(fig. 5)*.

Ce type de pont est assez peu employé sur les poids lourds, sauf pour quelques véhicules de tonnage réduit.

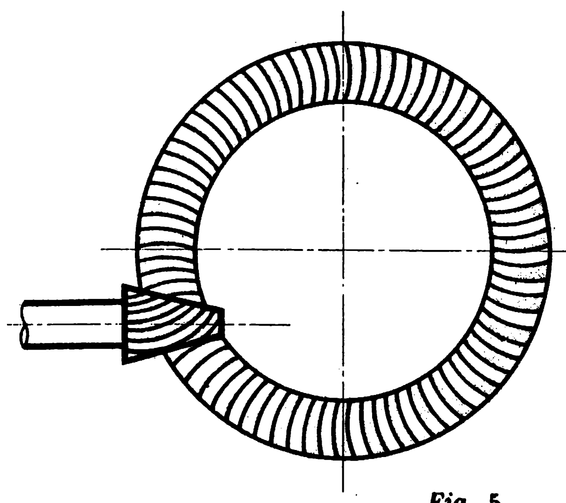


Fig. 5

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE PONT (suite)

LE MÉCANISME DE DÉMULTIPLICATION (suite)

LES PONTS A DOUBLE DÉMULTIPLICATION

Pour obtenir une démultiplication plus importante, sans augmenter le nombre de dents de la grande couronne, on utilise un train démultiplicateur complémentaire *(fig. 1)* constitué par :

— *un premier pignon* fixé sur le même axe que la couronne,
— *un deuxième pignon* qui contient le différentiel.

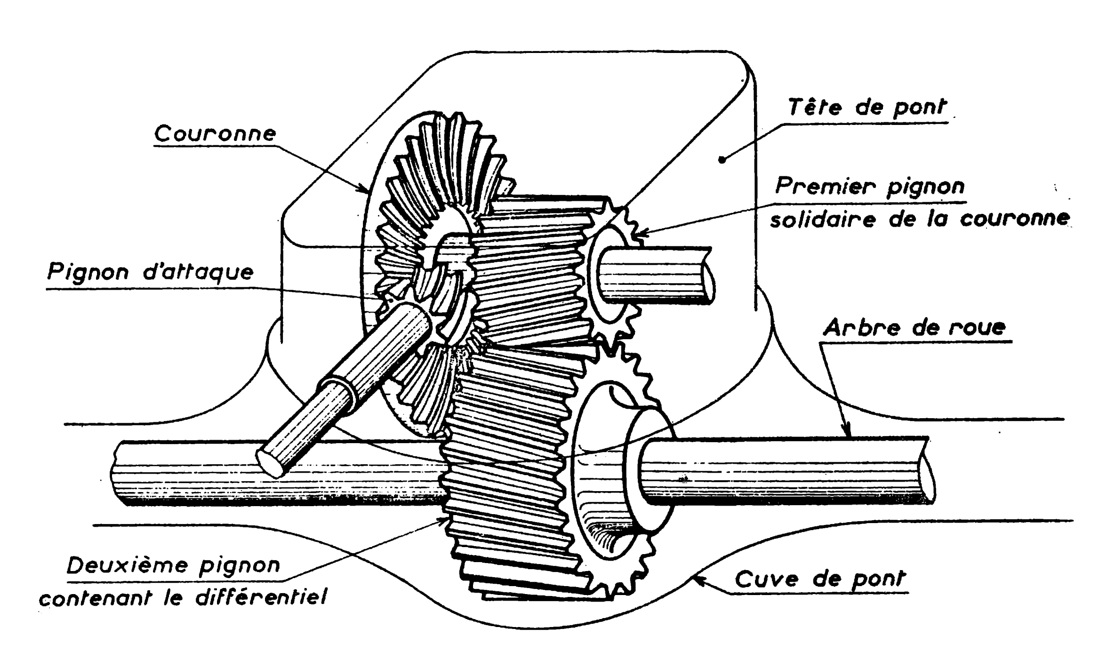


Fig. 1

Le rapport de démultiplication se calcule en appliquant la formule suivante :

$$\text{Rapport} = \frac{\text{Nombre de dents du pignon d'attaque}}{\text{Nombre de dents de la couronne}} \times \frac{\text{Nombre de dents du premier pignon}}{\text{Nombre de dents du deuxième pignon}}$$

Remarque :

La démultiplication double est la plus courante. Un rapport plus grand peut être obtenu par une réduction supplémentaire vers les roues.

LES PONTS A DEUX VITESSES

Les ponts à deux vitesses permettent de doubler le nombre de vitesses de la boîte. Ce dispositif *(fig. 2 au verso)* comporte :

— *deux pignons* montés sur le boîtier du différentiel ;
— *deux autres pignons* montés libres sur l'axe de la couronne du pont et constamment en prise avec les précédents :

— *un crabotage* qui permet de rendre solidaires de l'axe de la couronne, l'un ou l'autre des pignons montés sur cet axe.

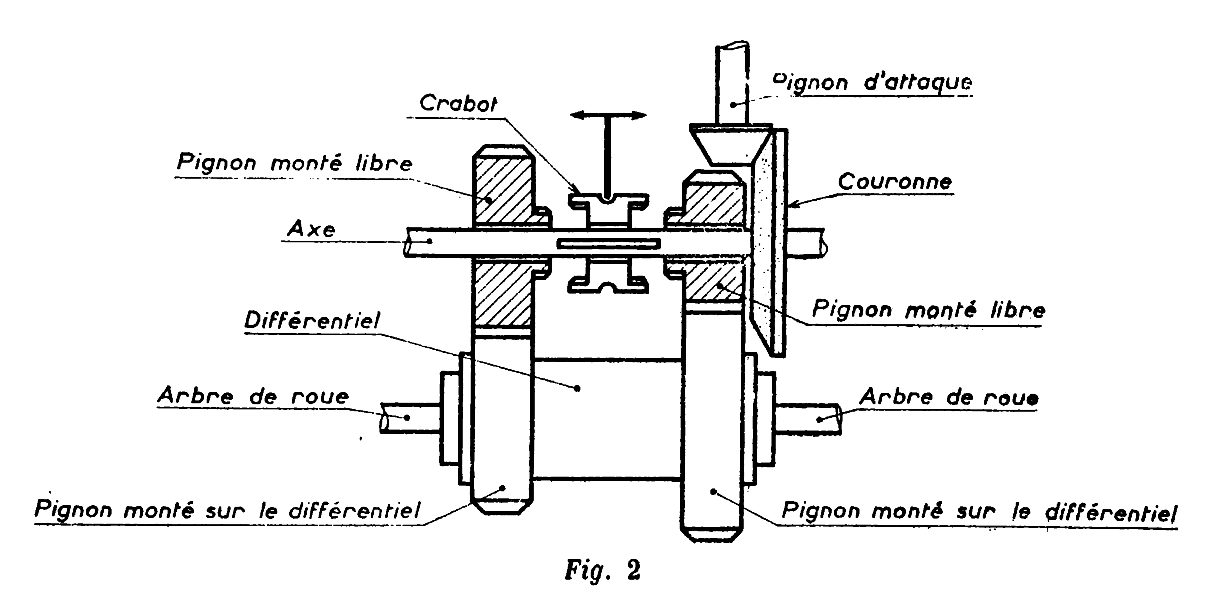


Fig. 2

LES PONTS AVANT

Lorsqu'un véhicule doit circuler normalement dans un terrain difficile, l'essieu avant est à la fois porteur, directeur et tracteur et prend le nom de *pont avant.*

Tout comme dans un pont arrière, on retrouve une simple ou une double réduction et un différentiel. De plus, pour permettre le braquage des roues, les arbres de roues sont munis à leurs extrémités de *joints homocinétiques* pouvant être constitués par des cardans doubles ou des joints à rotule.

LES RÉGLAGES

Les cotes de réglage des différents types de ponts sont indiquées par le constructeur. Toutefois, ces réglages doivent toujours être exécutés dans l'ordre indiqué ci-dessous.

Le réglage de la distance conique

La distance conique est la cote existant entre la face avant du pignon d'attaque et l'axe de la couronne *(fig. 3a).*

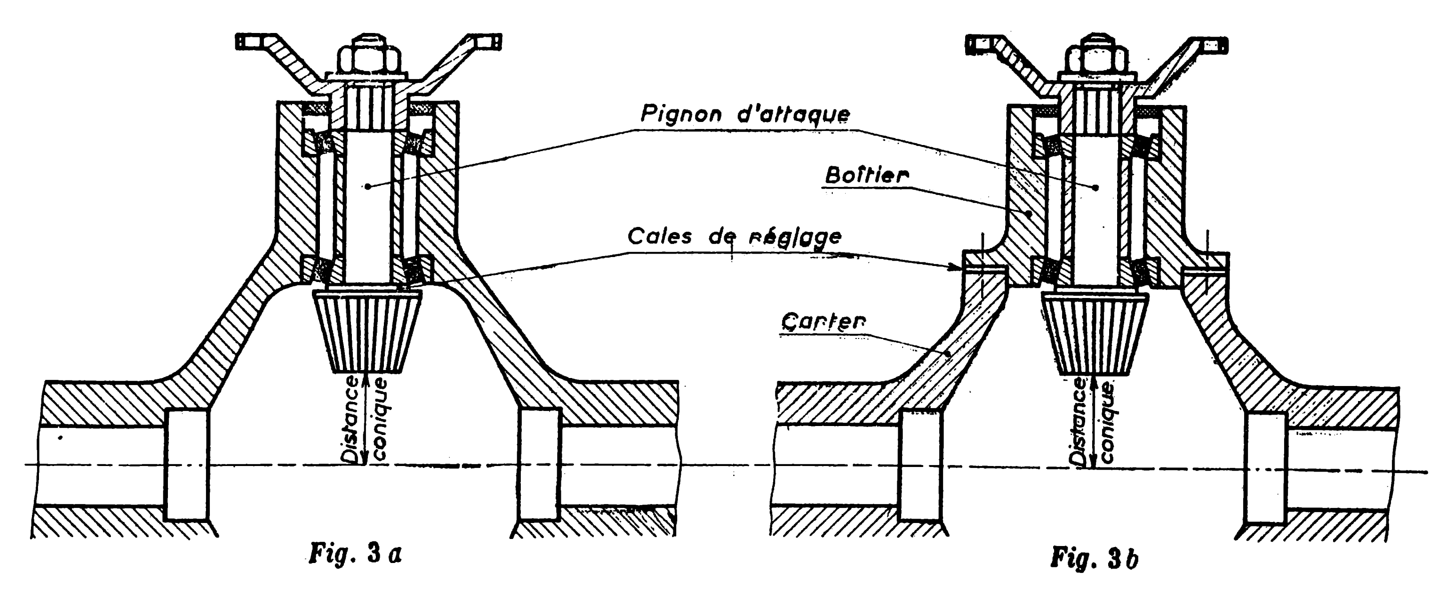


Fig. 3 a *Fig. 3 b*

Cette cote est souvent gravée sur le pignon. Le réglage se fait à l'aide de cales placées :

— soit d'un côté ou de l'autre des roulements portant le pignon d'attaque *(fig. 3a) :*
— soit entre le boîtier portant le pignon et le carter du pont *(fig. 3b).*

Le réglage du jeu d'entre-dents

Lorsque tous les éléments d'un pont sont en place, il doit exister un jeu d'entre-dents entre le pignon d'attaque et la grande couronne.

Pour régler ce jeu, on agit sur la position de la grande couronne par rapport à son axe. Le déplacement de cette couronne est obtenu par changement de place des cales qui permettent le réglage du jeu latéral *(fig. 4).*

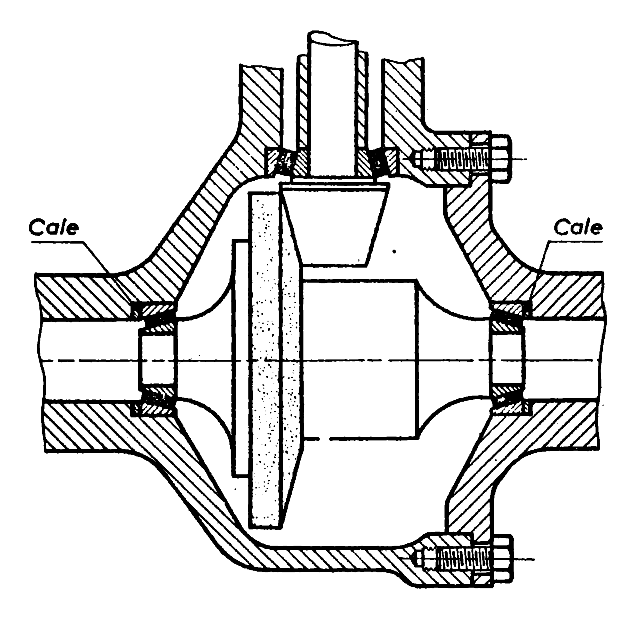


Fig. 4

— Ainsi, en enlevant une cale du côté gauche et en la plaçant à droite, on déplace la couronne vers la gauche de l'épaisseur de cette cale et, par conséquent, *on augmente le jeu entre-dents.*

— Inversement, en enlevant une cale à droite et en la plaçant à gauche, on ***diminue le jeu entre-dents.***

Notez que ces réglages ne modifient pas le jeu des roulements.

LE PONT (suite)

LE DIFFÉRENTIEL

Pour tous les véhicules automobiles recevant leur mouvement par deux, quatre ou six roues, un important problème de transmission du mouvement se pose. En effet, la distance linéaire parcourue par chaque roue motrice n'est pas la même.

— *En virage,* les roues extérieures doivent parcourir un trajet beaucoup plus long que les roues intérieures.

— *En trajet rectiligne,* les circonférences de roulement des pneumatiques sont rarement identiques, en raison des inégalités de gonflage, d'usure, ou de charge.

Sans inconvénient pour les roues non motrices, toujours montées folles sur leurs fusées, les écarts de vitesse circonférentielle des roues motrices interdisent leur montage sur un même arbre. Il est indispensable que ces roues, quoique transmettant toujours le mouvement moteur, aient une possibilité de mouvement relatif. Le différentiel donne aux roues motrices cette possibilité.

LA DESCRIPTION

A l'extrémité de chacun des deux demi-arbres de roues *(fig. 1)* est monté, sur cannelures, un pignon conique appelé *planétaire.*

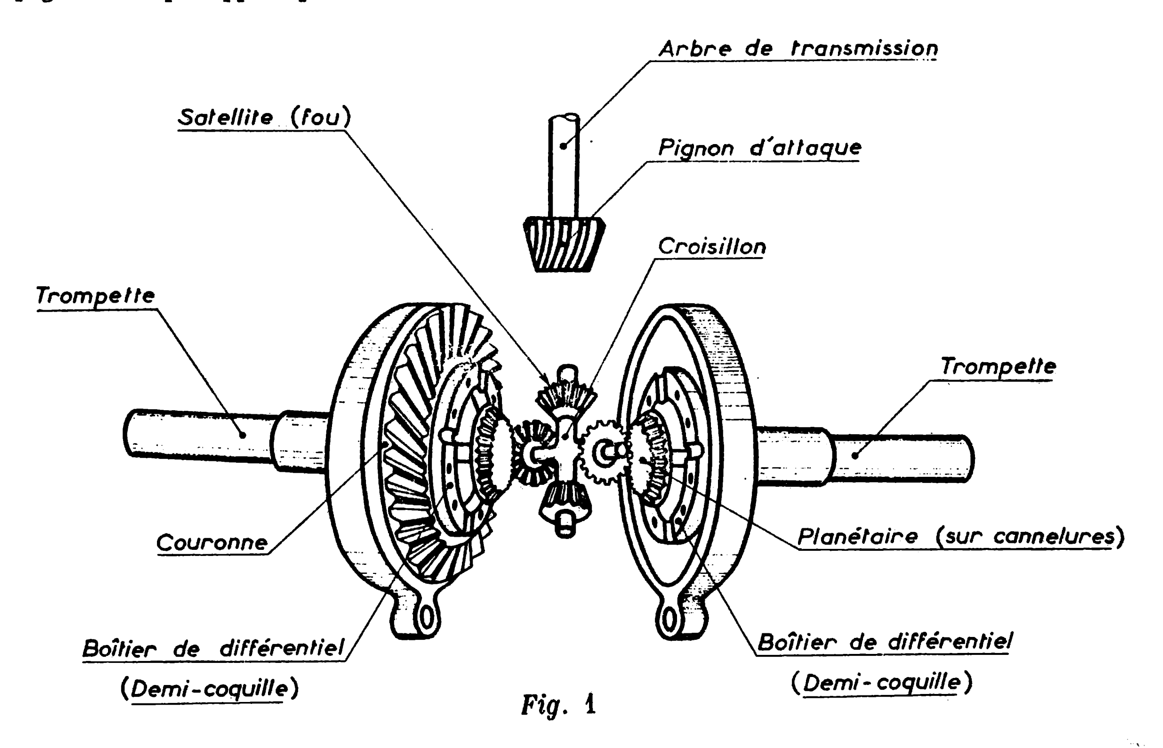


Fig. 1

Ces deux planétaires engrènent avec les *satellites,* autres pignons coniques, mais plus petits et montés fous sur un axe lisse. Généralement, les différentiels des véhicules poids lourds comportent quatre satellites montés sur un *croisillon* à quatre branches.

Le croisillon est encastré dans des logements pratiqués dans le carter ou boîtier de différentiel.

Le carter, formé de deux demi-coquilles, enveloppe et soutient l'ensemble du dispositif :

— *Dans le cas du pont à double démultiplication,* le différentiel est fixé à l'intérieur du deuxième pignon de démultiplication, dans l'axe des demi-arbres de roues *(fig. 2)*.

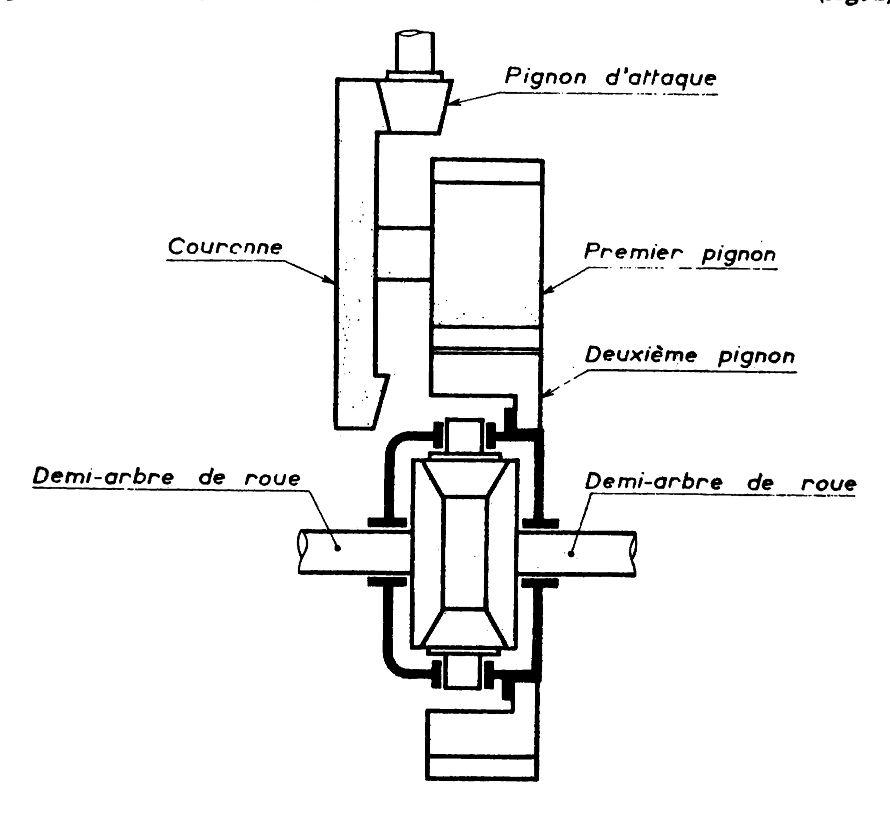


Fig. 2

— *Dans le cas du pont à simple démultiplication,* la couronne est fixée solidement, par boulons ajustés à l'extérieur du boîtier de différentiel sur lequel elle est centrée *(fig. 3)*.

LE FONCTIONNEMENT

Lorsque le pignon d'attaque entraîne la couronne, le boîtier de différentiel et le croisillon sont animés du même mouvement de rotation, puisqu'ils sont solidaires.

Le véhicule se déplace en ligne droite

Si le véhicule se déplace en ligne droite, les vitesses des roues sont théoriquement égales. L'effort résistant est le même sur chaque roue motrice, et par conséquent sur chaque planétaire, lié au demi-arbre de roue par des cannelures.

Les satellites, engrénés sur les planétaires, rencontrent sur chacun d'eux une résistance égale ; ils ne tournent pas sur leur axe ; mais ils restent soumis au mouvement général de rotation, comme la couronne, le boîtier et le croisillon. Ils font office de clavetage et entraînent les planétaires à la même vitesse que la couronne.

Remarque :

Cette explication est théorique car, pour correspondre à la réalité, il faudrait que la route soit parfaitement unie et que les rayons des pneus sous charge soient identiques ; ce qui, évidemment n'est jamais le cas en pratique.

Le véhicule se déplace dans un virage

La roue située à l'intérieur du virage a moins de chemin à parcourir que la roue située à l'extérieur ; elle doit donc tourner moins vite. Le planétaire correspondant à la roue intérieure éprouve une plus grande résistance ; il tend à s'opposer au mouvement de rotation, alors que le planétaire de la roue extérieure est sollicité pour tourner plus vite.

Les satellites prennent donc appui sur le planétaire résistant et font tourner l'autre à une vitesse plus grande. Ils tournent sur leur axe, en roulant sur le planétaire le plus lent, tout en subissant le mouvement de rotation de l'ensemble couronne-boîtier. Le planétaire, lié à la roue extérieure, est alors entraîné à une vitesse plus grande que celle de la couronne et du boîtier. Cette vitesse est inversement proportionnelle à celle du planétaire de la roue intérieure, c'est-à-dire que plus le planétaire intérieur tourne lentement, plus le planétaire extérieur, et par conséquent la roue qu'il commande, tourne vite. Ainsi, les roues peuvent tourner à des vitesses différentes, tout en entraînant le véhicule à une vitesse constante, ce qui justifie la formule suivante :

$$\frac{\textit{Vitesse planétaire droit} + \textit{Vitesse planétaire gauche}}{2} = \textit{Vitesse de la couronne}$$

Exemple de calcul

Calculez la vitesse V de la roue gauche d'un véhicule, si la roue droite tourne à 200 tours par minute et si la couronne tourne à 300 tours par minute.

La formule précédente permet d'écrire :

$$\frac{200 + V}{2} = 300$$

d'où $200 + V = 300 \times 2 = 600$

et $V = 600 - 200 = 400$ tr/mn

LE BLOCAGE DU DIFFÉRENTIEL

Si une roue patine, dans le sable par exemple,et que l'autre roue soit fixe sur un sol dur, le véhicule n'avance pas et la roue qui patine tourne deux fois plus vite que la couronne. Pour pallier cet inconvénient, certains véhicules sont équipés d'un dispositif de blocage du différentiel *(fig. 3)*.

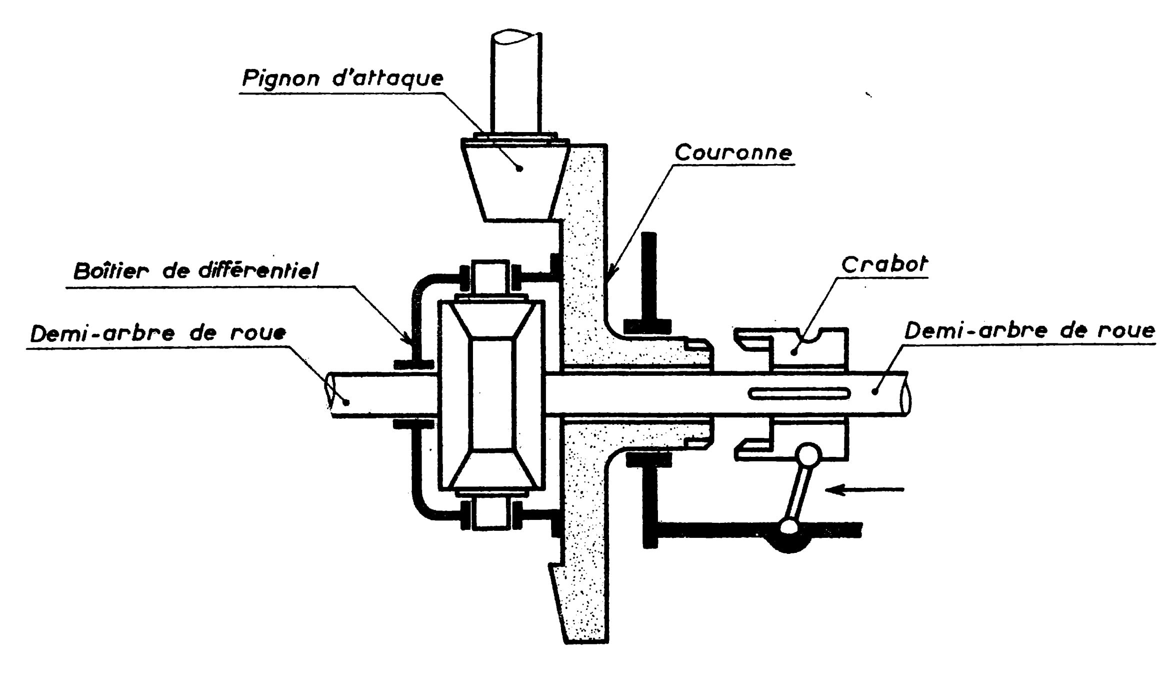


Fig. 3

Ce blocage est assuré par un *crabot* qui permet de rendre solidaires l'ensemble couronne-différentiel et l'un des deux demi-arbres.

Ainsi bloqué, le différentiel ne remplit plus son rôle et tout se passe comme si les deux demi-arbres ne formaient plus qu'un arbre unique. Les deux roues continuent à recevoir l'effort transmis par la boîte de vitesses, même si l'une d'elles vient à manquer d'adhérence et risque de patiner.

Remarque :

La conception et le fonctionnement du blocage de différentiel vous permettent de comprendre que, pour éviter une rupture d'organe, le blocage ne peut être utilisé qu'en ligne droite et seulement de façon temporaire.

LE DIFFÉRENTIEL ENTRE PONTS

Lorsqu'un véhicule comporte, à l'arrière, deux ponts moteurs, il existe souvent un différentiel sur la transmission, entre les deux ponts, indépendamment du différentiel classique qui existe dans chacun des ponts.

Cette disposition est adoptée sur les véhicules de forts tonnages utilisés en chantiers ou en tous terrains. Chaque pont peut avoir une vitesse propre adaptée au profil du terrain.

Le différentiel entre-ponts comporte un blocage qui interdit à l'un des deux ponts de patiner par manque d'adhérence *(boue ou sable)*.

LA VITESSE MAXIMUM THÉORIQUE D'UN VÉHICULE

La vitesse maximum théorique V d'un véhicule dépend :

- du régime maximum N du moteur, en tours par minute,
- du plus grand rapport *d* de la boîte de vitesses,
- de la démultiplication totale D du pont arrière,
- de la circonférence C de roulement du pneumatique, en mètres; cette valeur est toujours indiquée par le fabricant de pneumatiques.

Pour obtenir une vitesse V, exprimée en kilomètres-heure, il faut appliquer la formule suivante :

$$V = N \times d \times D \times C \times \frac{60}{1000}$$

Exemple de calcul

Calculez la vitesse théorique maximum d'un véhicule qui présente les caractéristiques suivantes :

- *Régime maximum : 2 100 tours par minute.*
- *Rapport de la cinquième vitesse surmultipliée : 1,221.*
- *Rapport de démultiplication du pont arrière :* $\frac{1}{7,24}$.
- *Circonférence de roulement : 3,397 mètres.*

La vitesse théorique maximum du véhicule sera de :

$$V = N \times d \times D \times C \times \frac{60}{1\,000}$$

$$V = 2\,100 \times 1,221 \times \frac{1}{7,24} \times 3,397 \times \frac{60}{1\,000} \simeq 72 \text{ km/h}$$

Toutes les leçons doivent être conservées.

LA SUSPENSION

La liaison entre le châssis et les roues avant ou arrière doit satisfaire à trois conditions fondamentales :

— assurer la suspension : liaison élastique dans le plan vertical ;
— assurer la stabilité latérale de l'essieu avant ou du pont arrière : liaison rigide dans le plan transversal ;
— transmettre la poussée du ou des ponts moteurs, et absorber les réactions : liaison rigide articulée suivant l'axe longitudinal.

LES RESSORTS A LAMES

Dans la plupart des véhicules poids lourds et autobus, ces trois fonctions sont assurées par des ressorts à lames, interposés entre le châssis et l'essieu ou le pont.

— Ces ressorts fléchissent sous la charge et sous l'effet du choc des roues avec les inégalités de la route. Ils reprennent ensuite et même dépassent leur position initiale : c'est le *coup de raquette.*

— Ils maintiennent l'essieu ou le pont dans leur position perpendiculaire au châssis.

— Ils sont, enfin, souvent utilisés pour transmettre au châssis la poussée des roues motrices.

La description

Les ressorts sont constitués par plusieurs lames d'acier trempé *(fig. 1)* de longueurs et de courbures croissantes, la plus courte étant la plus cintrée.

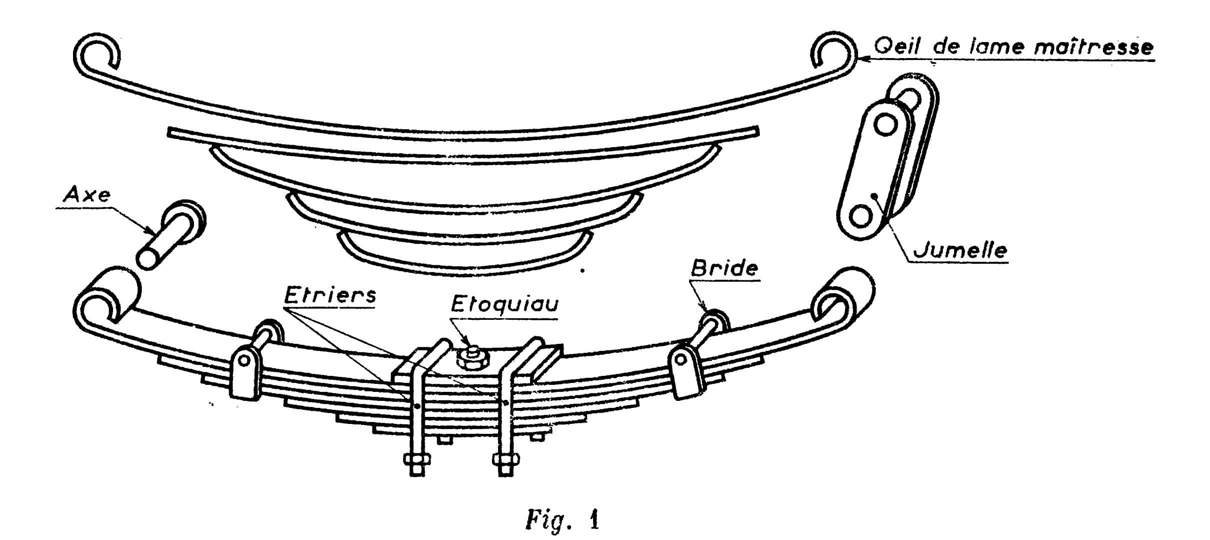


Fig. 1

Ces lames sont réunies par un boulon central appelé *étoquiau.* La tête de ce boulon vient se loger dans un trou borgne percé dans le patin de l'essieu sur lequel le ressort est fixé par deux étriers. L'étoquiau et les étriers interdisent au ressort de se déplacer par rapport à l'essieu. Des brides empêchent les lames de se mettre en éventail.

La flexibilité

Un ressort est caractérisé par sa *flexibilité,* c'est-à-dire par la déformation ou *flexion* qu'il subit quand il supporte une charge de 100 kilogrammes.

La flexibilité s'exprime en millimètres par 100 kilogrammes de charge. C'est le nombre de millimètres dont la *flèche* diminue, chaque fois qu'on applique une charge de 100 kilogrammes au ressort *(fig. 2).*

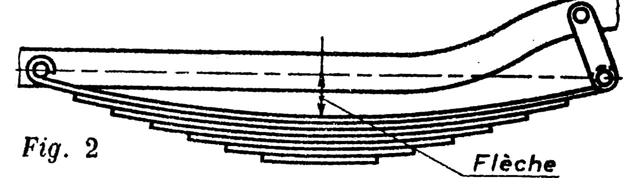


Fig. 2

LA SUSPENSION CLASSIQUE A FLEXIBILITÉ CONSTANTE

La *figure* 3 représente une suspension classique à flexibilité constante, quelle que soit la charge.

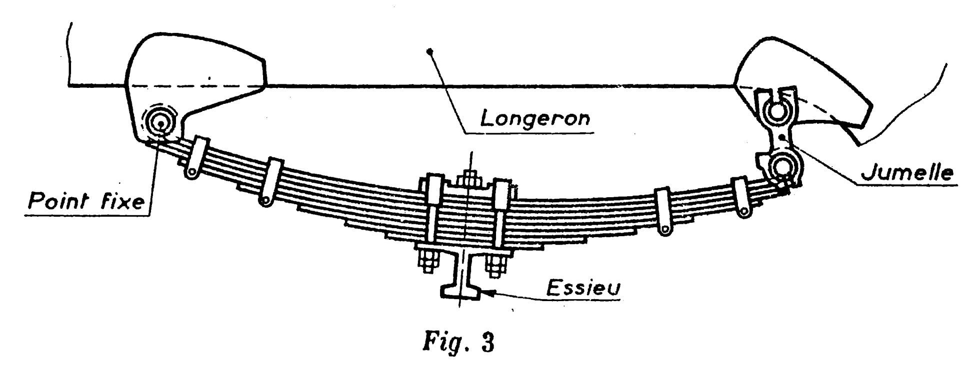


Fig. 3

LES SUSPENSIONS A FLEXIBILITÉ VARIABLE

Ces types de suspension comportent des ressorts principaux et des ressorts auxiliaires. Les ressorts principaux travaillent seuls jusqu'à une certaine charge, puis les ressorts auxiliaires entrent en contact progressivement diminuant la flexibilité au fur et à mesure que la charge augmente *(fig. 4 et 5).*

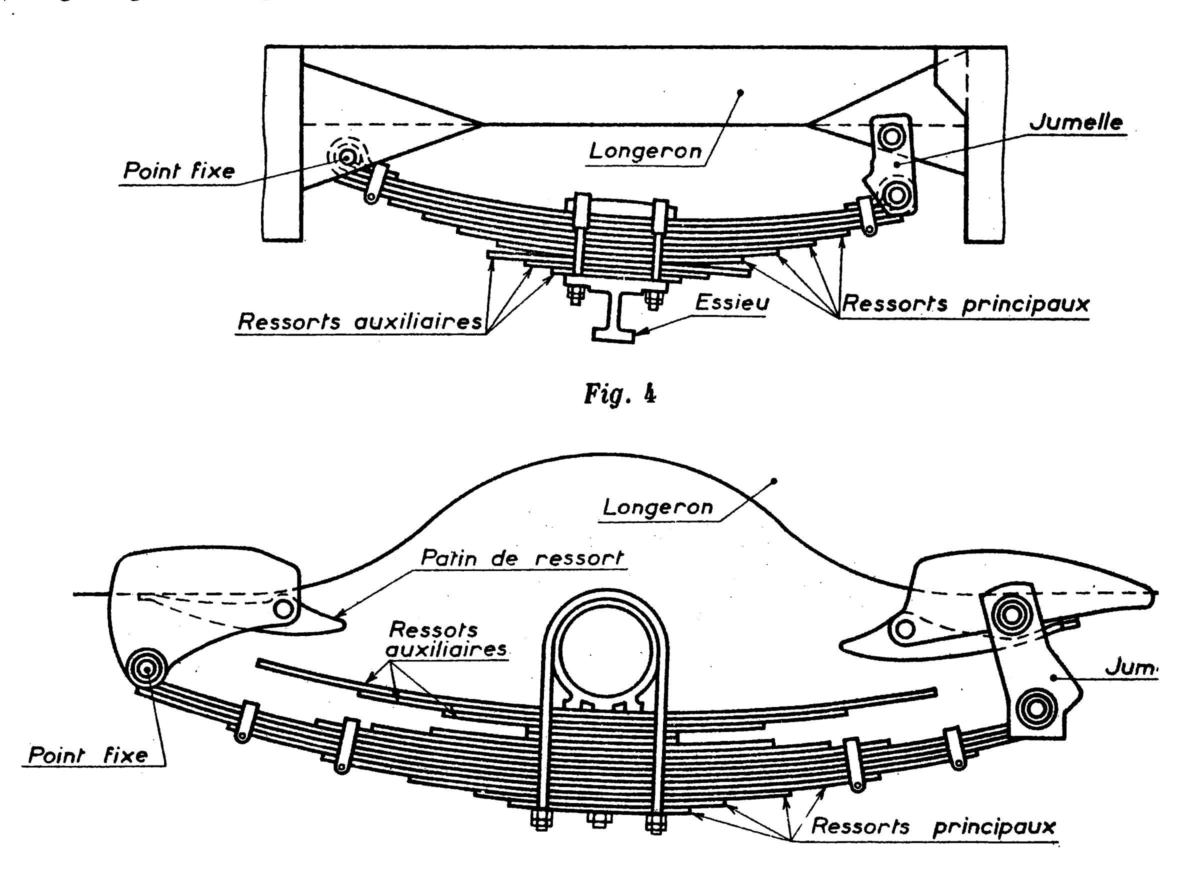


Fig. 4

Fig. 5

Dans la suspension *Grégoire* à flexibilité variable *(fig. 6),* le travail des ressorts à boudin vient s'ajouter, proportionnellement à la charge, assurant ainsi une flexibilité variable.

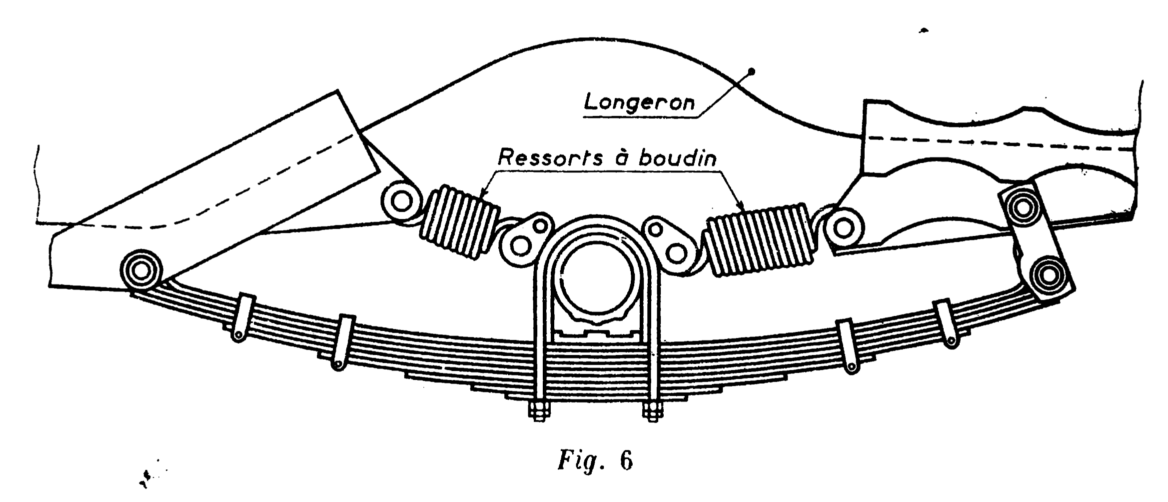


Fig. 6

LA LIAISON DU PONT AU CHASSIS

La liaison du pont au châssis peut être assurée entièrement par les ressorts ou par l'intermédiaire de bielles de poussée.

Le système tout par les ressorts

Sur la plupart des véhicules poids lourds, les ponts et les essieux sont reliés au châssis par l'intermédiaire des ressorts, du type à lames. Ce mode de liaison est dit *tout par les ressorts* car, outre leur rôle de suspension, les ressorts :

— transmettent au châssis la poussée (1) des roues *(fig. 7)*,
— absorbent les efforts de réaction (2) dus aux changements d'allure, accélération ou freinage.

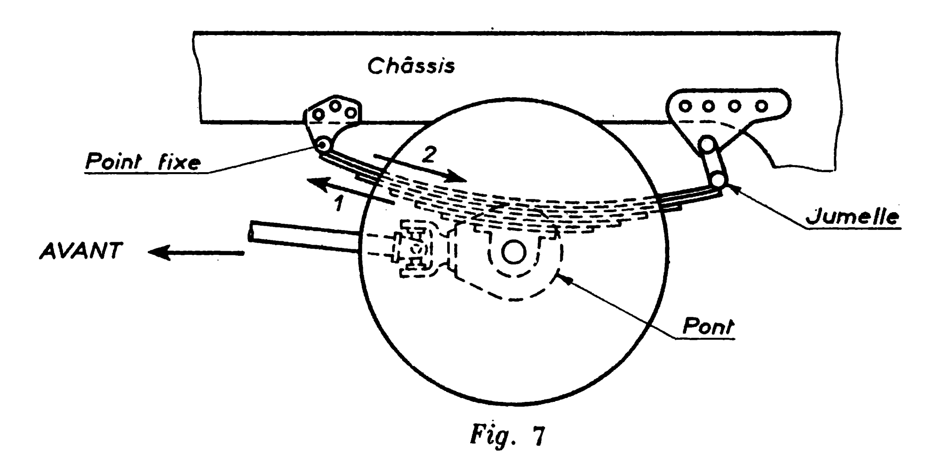


Fig. 7

Le point fixe des ressorts est obligatoirement placé à l'avant. La liaison arrière est assurée par une jumelle.

La liaison par bielle de poussée

Certains ressorts ne comportent pas de point fixe. Ils sont libres à leurs deux extrêmités et coulissent sur des glissières *(fig. 8a et 8b).*

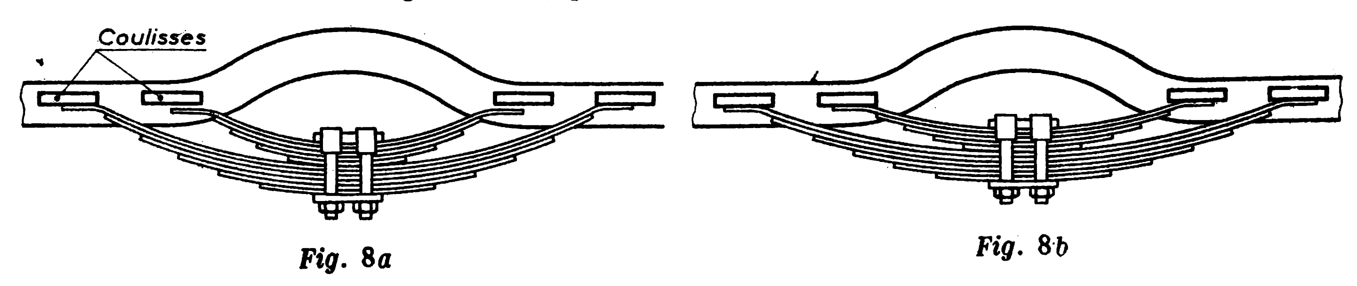
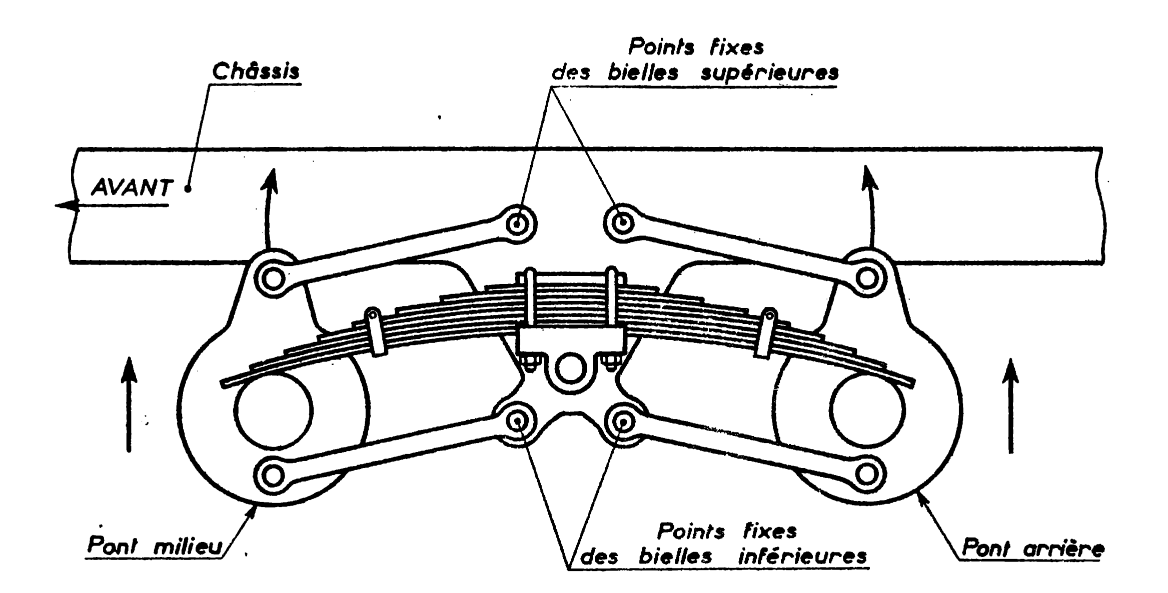


Fig. 8a

Fig. 8b

La liaison pont-châssis est alors assurée par des bielles de poussée ou de réaction *(fig. 2).*
Ce système est toujours utilisé lorsqu'il y a deux ponts arrière.



Toutes les leçons doivent être conservées.

LA SUSPENSION (suite)

LES AMORTISSEURS

Le coup de raquette, rebondissement qui se produit lorsque les ressorts reprennent, après fléchissement, leur position primitive, peut s'amplifier à la rencontre successive des inégalités du sol. On supprime le coup de raquette en montant des amortisseurs hydrauliques qui freinent les mouvements des ressorts, surtout au rebondissement. Les amortisseurs hydrauliques comportent soit un piston classique *(fig. 1)*, soit un piston rotatif *(fig. 2 au verso)*, soit deux pistons *(fig. 3 au verso)*.

L'amortisseur télescopique

L'amortisseur télescopique est constitué par deux cylindres emboîtés l'un dans l'autre *(fig. 1)* :

— Le *cylindre fixe* comporte à son extrêmité inférieure un piston percé d'un clapet taré et d'un orifice permanent. Ce cylindre est fixé en un point du châssis.

— Le *cylindre mobile* est fixé dans la partie centrale du ressort de suspension. Il est rempli d'huile.

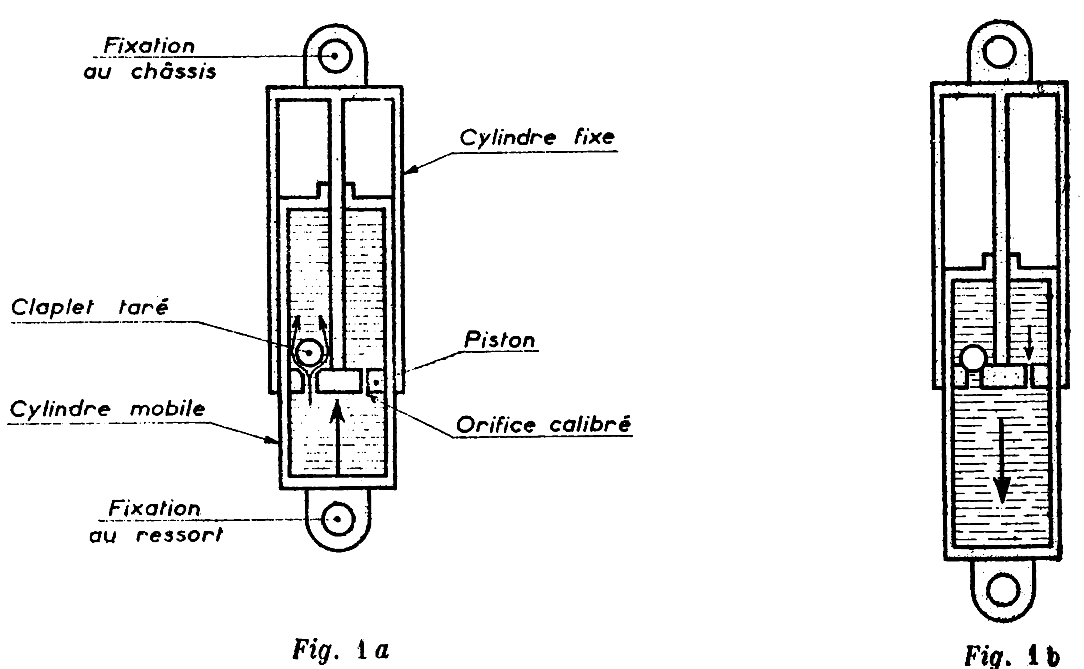


Fig. 1 a *Fig. 1 b*

Le passage du liquide à travers le piston est freiné différemment, selon que l'amortisseur agit sous l'action de la charge ou de la détente du ressort.

— *Dans le sens de la charge,* le liquide traverse le piston par le clapet taré et l'orifice permanent *(fig. 1 a)*.

— *Dans le sens de la détente,* le déplacement du liquide est beaucoup plus freiné, car seul l'orifice permanent assure le passage *(fig. 1 b)*.

Les amortisseurs à piston rotatif

L'amortisseur à piston rotatif *(fig. 2)* comporte deux clapets tarés et quatre orifices permanents. Le fonctionnement de ces amortisseurs ressemble à celui des amortisseurs télescopiques, tant à la charge *(fig. 2a)* qu'à la détente *(fig. 2b)*.

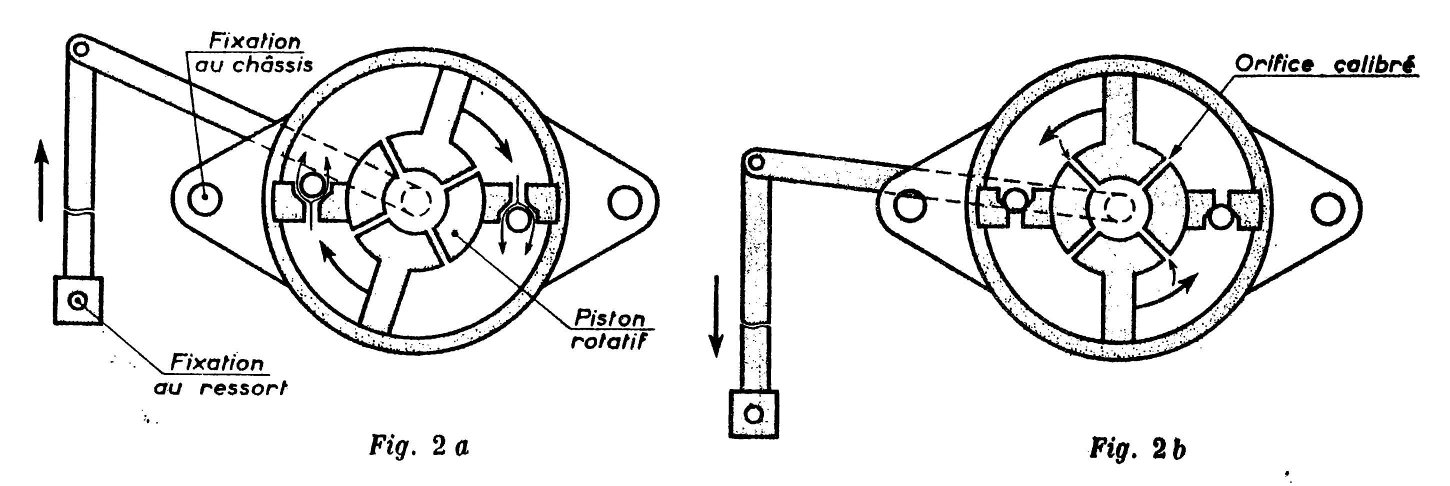


Fig. 2 a *Fig. 2 b*

L'amortisseur à double-effet

L'amortisseur à double-effet *(fig. 3)* comporte deux pistons. La disposition des clapets tarés permet à ce type d'amortisseur d'agir à la charge *(fig. 3a)* et à la détente du ressort *(fig. 3b)*.

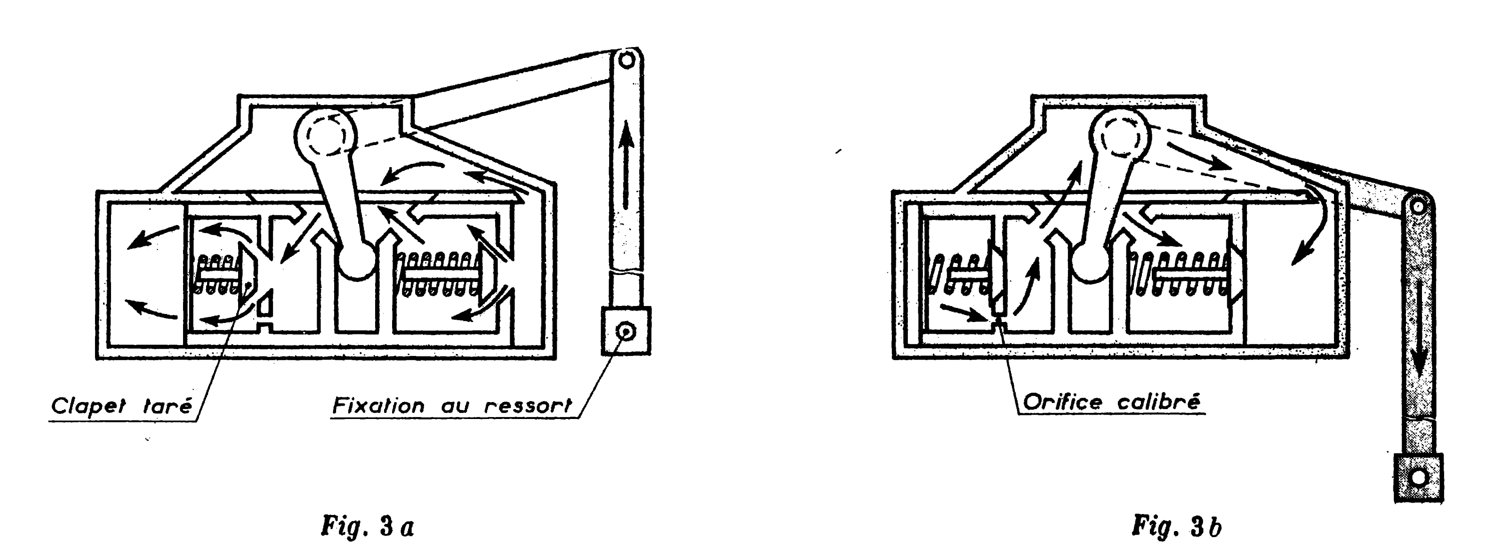


Fig. 3 a *Fig. 3 b*

LES STABILISATEURS

Dans un virage, le véhicule a tendance à se coucher, sous l'effet de la force centrifuge. Souvent, un stabilisateur est adjoint à la suspension, surtout à l'arrière, ce qui évite une trop grande flexion des ressorts placés du côté extérieur du virage.

Ce dispositif est généralement constitué par une barre de torsion tourillonnant dans deux supports munis de *silentbloc,* bloc caoutchouc adhérisé sur une armature solidaire du support et une autre partie solidaire de la barre. Le mouvement est transmis par deux bielles accouplées chacune à un levier solidaire de la barre à chaque extrémité, ce qui assure la liaison ressorts-barre de torsion.

Une flexion du ressort d'un côté a tendance à produire une flexion analogue de l'autre côté ; la barre de torsion forme ressort et freine d'une façon sensible le mouvement faisant coucher le véhicule dans un virage.

LES CORRECTEURS DE STABILITÉ

Lorsque le ressort est bandé, soit par l'augmentation de la charge, soit par suite de sa flexion due aux inégalités du sol, la partie supérieure du ressort vient en butée sur une masse de caoutchouc évidée en son centre et fixée sur le châssis. La flexion du ressort est ainsi amortie, ce qui, dans une large mesure, évite les chocs et les coups de raquette.

Remarque :

D'autres types de suspension, beaucoup plus compliqués, ont été étudiés par certains constructeurs. Il s'agit de suspension uniquement pneumatique, ou encore de dispositifs mixtes comportant des ressorts et des amortisseurs pneumatiques à pression intérieure variable. Ces systèmes assurent une flexibilité variable et une grande souplesse ; mais nous ne pouvons en faire l'étude, car ils viennent d'apparaître sur le marché et ne sont pas encore vulgarisés.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LA DIRECTION

L'essieu avant, fixé au châssis par des ressorts, supporte une partie du poids du véhicule. L'ensemble direction et essieu constitue le *train avant* qui, sur les poids lourds, ne diffère pas de celui des véhicules de tourisme équipés d'essieux ; mais tous les organes sont plus largement dimensionnés.

GÉNÉRALITÉS

Les trois angles, *carrossage, inclinaison et chasse,* doivent être respectés *(fig. 1).*

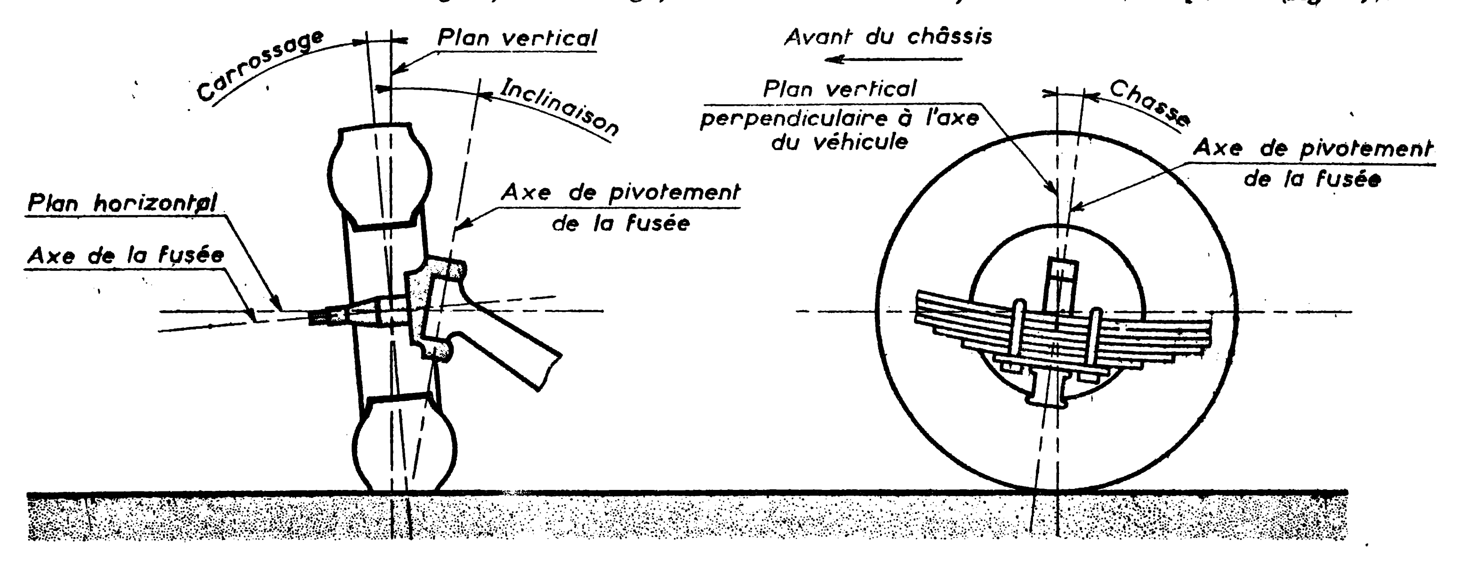


Fig. 1

Le *pincement (fig. 2)* ou, pour certains véhicules, *l'ouverture* sont indiqués par le constructeur et doivent aussi être respectés.

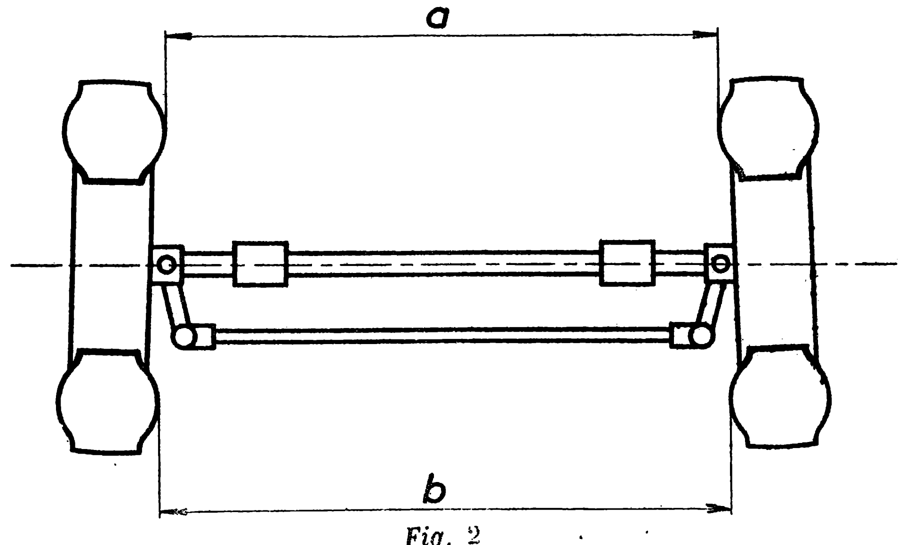


Fig. 2

Comme dans les voitures de tourisme, les pièces doivent être exécutées et montées de façon à tenir compte de l'épure de *Jeantaud.*

La *figure* 3 vous rappelle le nom des principaux organes de commande ou *timonerie de direction.*

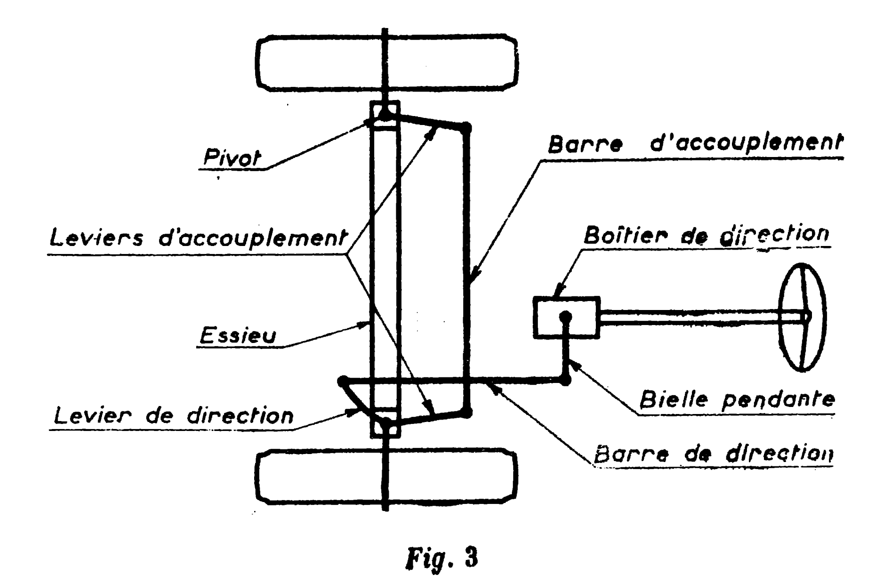


Fig. 3

LES BOÎTIERS DE DIRECTION

Généralement, les mécanismes employés dans les boîtiers de direction sont du type à vis :

— vis cylindrique et secteur denté *(fig. 4)*,

— vis globique et galet *(fig. 5)*,

— vis et roue dentée *(fig. 6)*.

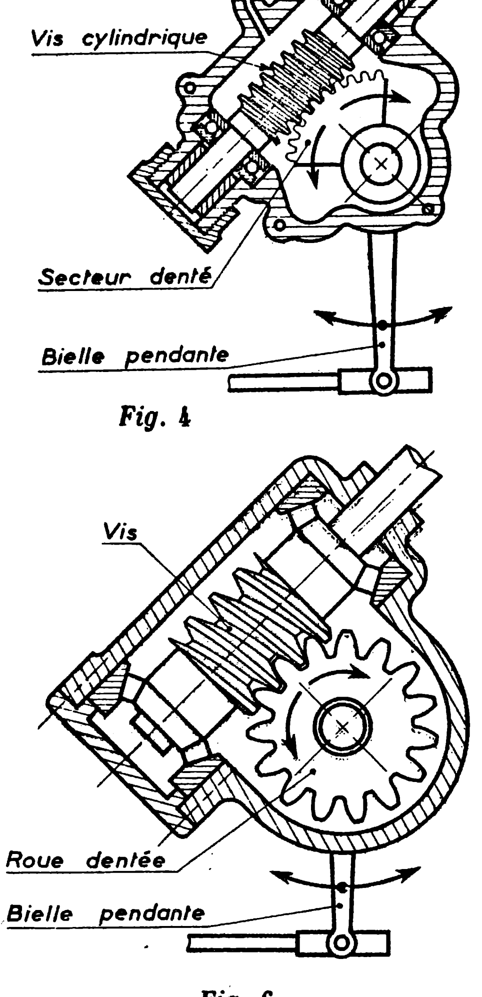


Fig. 4

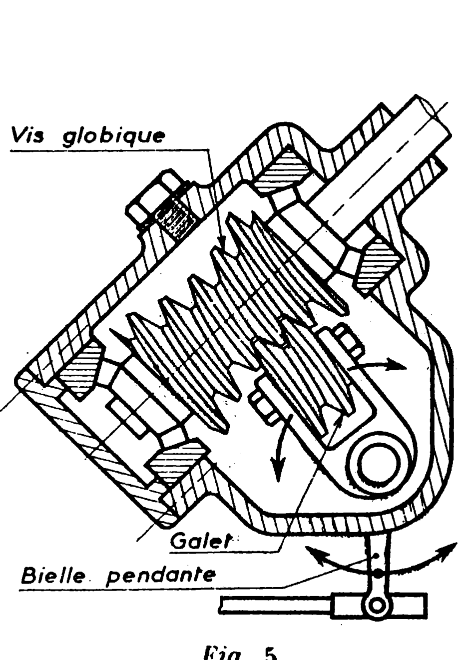


Fig. 5

Fig. 6

Enfin, pour rendre la direction plus douce et éviter une usure rapide, le système vis et écrou peut être amélioré en remplaçant les filetages de la vis et de l'écrou par des gorges dans lesquelles sont placées des billes *(fig. 7 et 8)*.

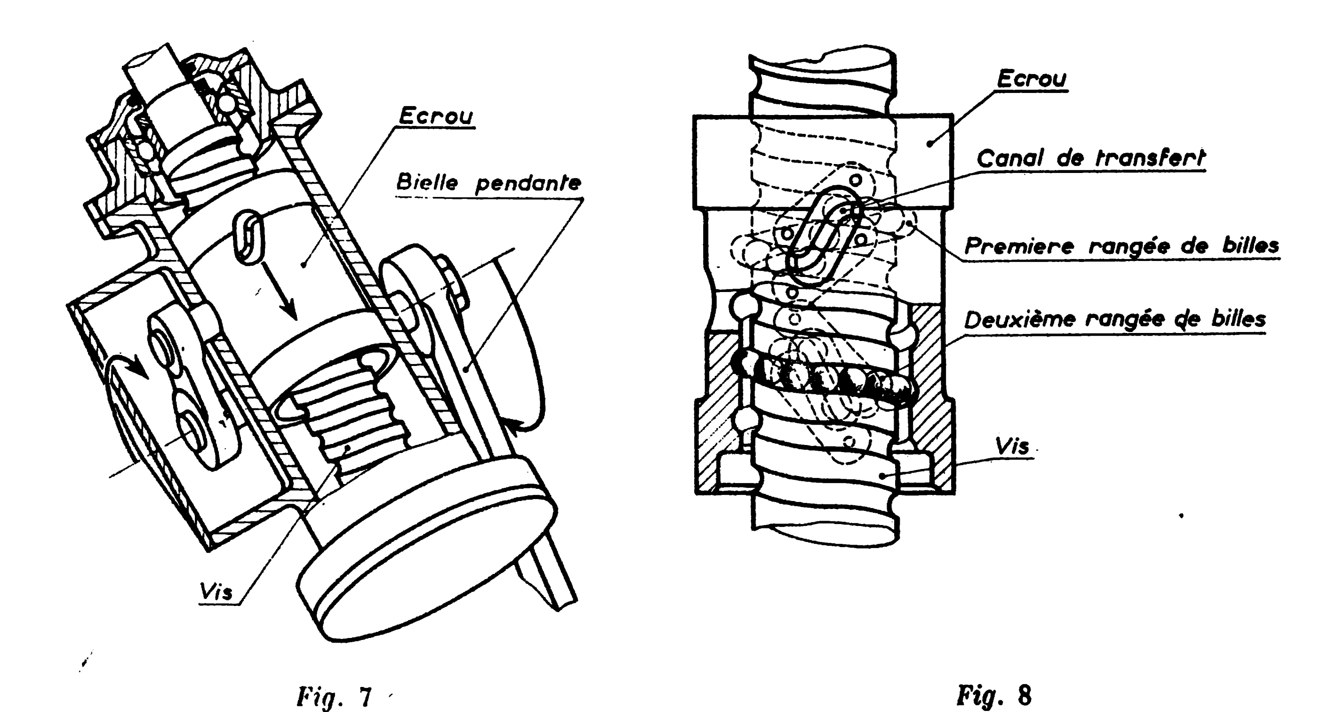


Fig. 7 *Fig. 8*

Toutes les leçons doivent être conservées.

LA DIRECTION (suite)

Pour certains véhicules poids lourds ou de transport en commun qui utilisent des pneus de grande surface portante, les efforts nécessaires à la manœuvre de la direction sont incompatibles avec la rapidité et la sûreté de conduite.

Pour diminuer la fatigue du conducteur et augmenter la facilité de conduite, on adjoint à la direction un dispositif d'assistance ou servo-direction à commande *pneumatique* ou *hydraulique.*

Dans cette leçon, nous étudierons l'assistance pneumatique.

L'ASSISTANCE PNEUMATIQUE

L'INSTALLATION GÉNÉRALE

La *figure* 1 présente l'installation générale d'un système d'assistance pneumatique. Ce circuit pneumatique comprend :

— un *réservoir* qui fournit l'air comprimé nécessaire au fonctionnement ;
— un *distributeur* qui envoie l'air sous pression d'un côté ou de l'autre d'un piston de commande ;
— un *manchon,* placé entre le tube de direction et le boîtier de direction dont les déplacements commandent, par l'intermédiaire d'un levier, l'ouverture du distributeur ;
— un *cylindre,* fixé sur un longeron du châssis, qui contient le piston de commande relié à la bielle pendante.

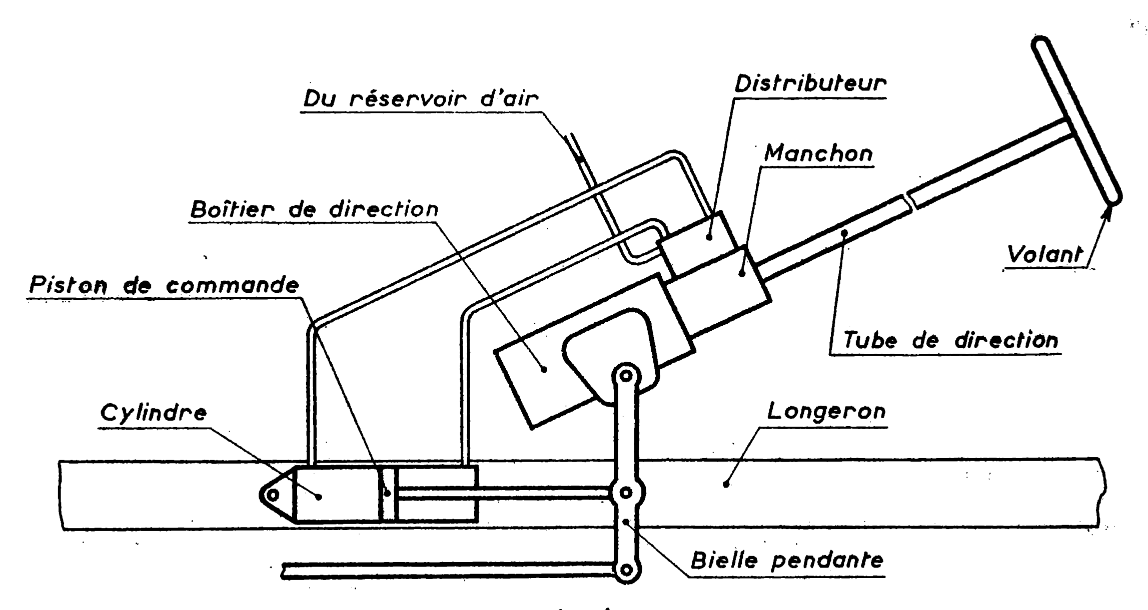


Fig. 1

LE FONCTIONNEMENT DU DISTRIBUTEUR

Le manchon reçoit son mouvement de rotation du volant et le transmet à la vis de direction par les rainures hélicoïdales *(fig. 2)*.

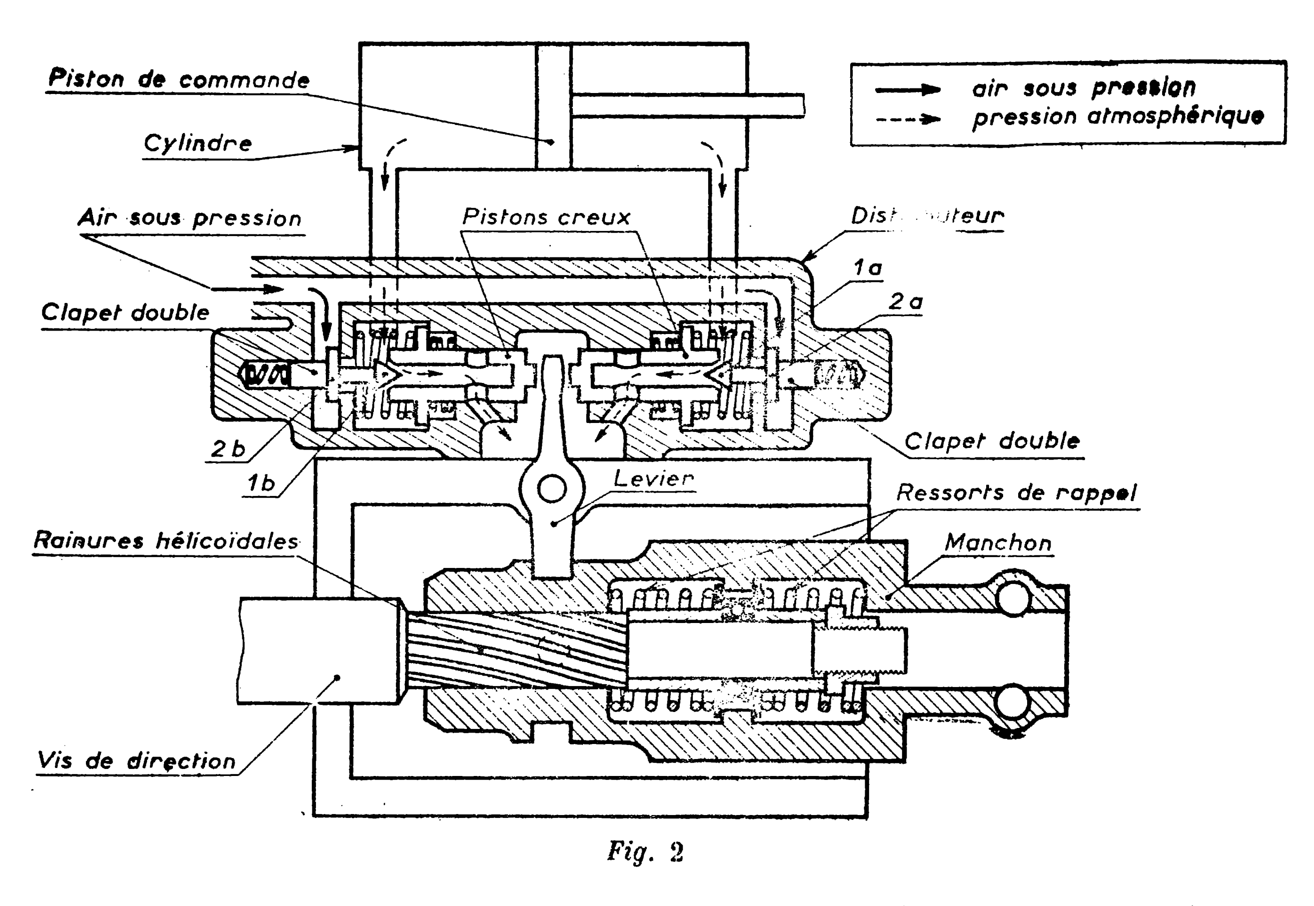


Fig. 2

Ce manchon, centré par un jeu de ressorts de rappel, se déplace légèrement de part et d'autre de sa position centrale, lorsque le chauffeur agit sur le volant. Au cours de ses déplacements, il entraîne un levier qui commande l'ouverture des clapets du distributeur,

Au repos

Au repos, c'est-à-dire en ligne droite, aucun effort n'est exercé sur le volant. Le manchon est bien centré par les ressorts de rappel. Le levier n'a aucune action sur les clapets du distributeur *(fig. 2)*.

— Le cylindre est mis à la pression atmosphérique, par l'intermédiaire des pistons creux et des clapets doubles *1a et 1b*.

— L'air sous pression en provenance du réservoir est arrêté par les clapets doubles *2a et 2b*.

Remarque :

Dans cette position, un léger jeu est prévu entre les clapets *1a et 1b* et les pistons creux, de façon que le distributeur n'entre pas immédiatement en action, pour une faible rotation du volant. De plus, ce jeu est nécessaire pour assurer la mise à l'air libre du cylindre, après fonctionnement.

Pendant le braquage

Pendant le braquage, le manchon se déplace sur les rainures hélicoïdales et comprime l'un des ressorts de rappel. Dans son mouvement, le manchon entraîne le levier qui pivote sur son axe et provoque le déplacement d'un des pistons creux *(fig. 3)*. Le clapet double :

— *se ferme en 1b* et interrompt la communication entre le cylindre et l'atmosphère ;
— *s'ouvre en 2b* et établit la communication entre le réservoir et le cylindre.

Le piston, poussé par l'air comprimé, agit alors sur la bielle pendante.

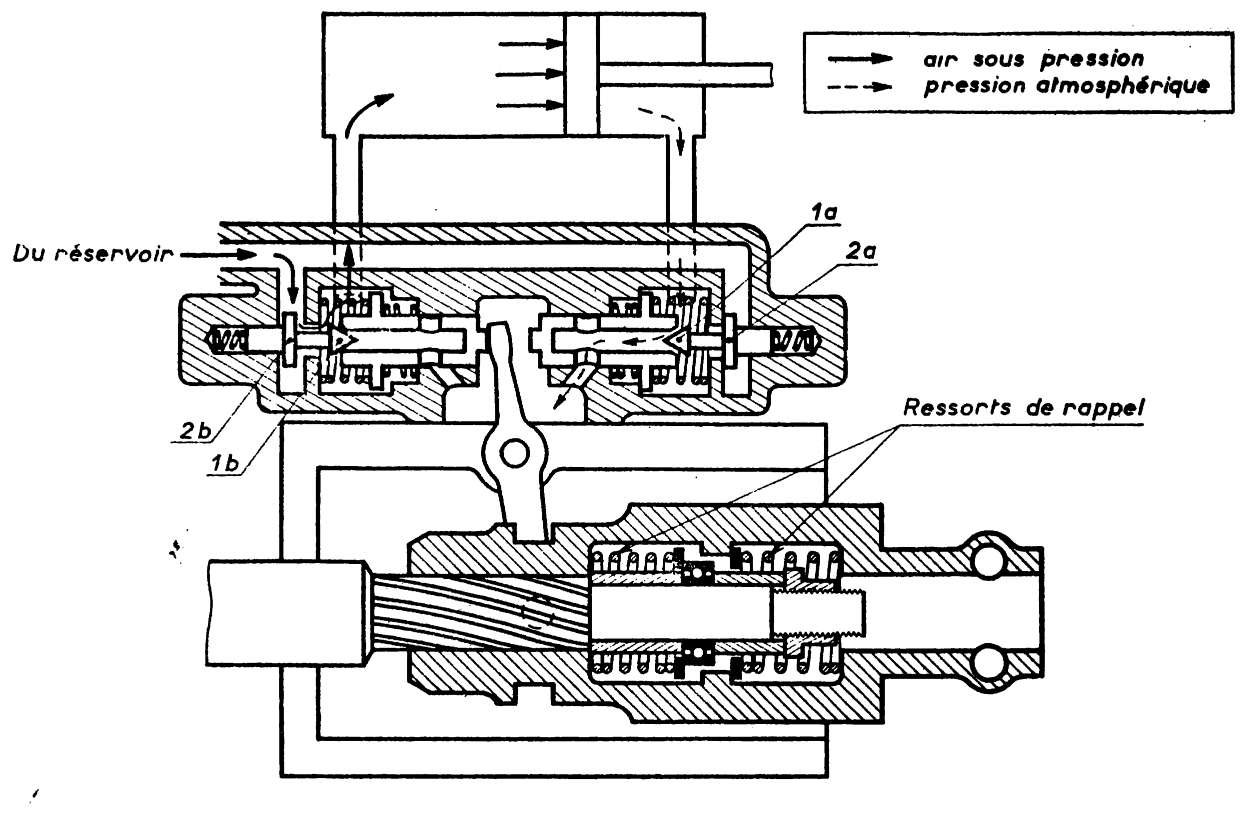


Fig. 3

Dès que cesse l'action sur le volant, le manchon reprend sa position centrale. Le piston creux et le clapet double, repoussés par leurs ressorts respectifs, se replacent dans leur position initiale. L'arrivée d'air comprimé est interrompue et le cylindre est remis en communication avec l'atmosphère.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LA DIRECTION (suite)

L'ASSISTANCE HYDRAULIQUE

L'INSTALLATION GÉNÉRALE

La *figure* 1 présente l'installation générale d'un système d'assistance hydraulique. Ce circuit hydraulique comprend :

— un *réservoir* d'huile qui alimente le système ;
— une *pompe à engrenages* qui fournit la pression nécessaire au fonctionnement ;
— un *distributeur* relié au volant de direction qui envoie l'huile sous pression d'un côté ou de l'autre d'un piston de commande ;
— un *vérin,* fixé au châssis, qui contient le piston de commande relié à la bielle pendante.

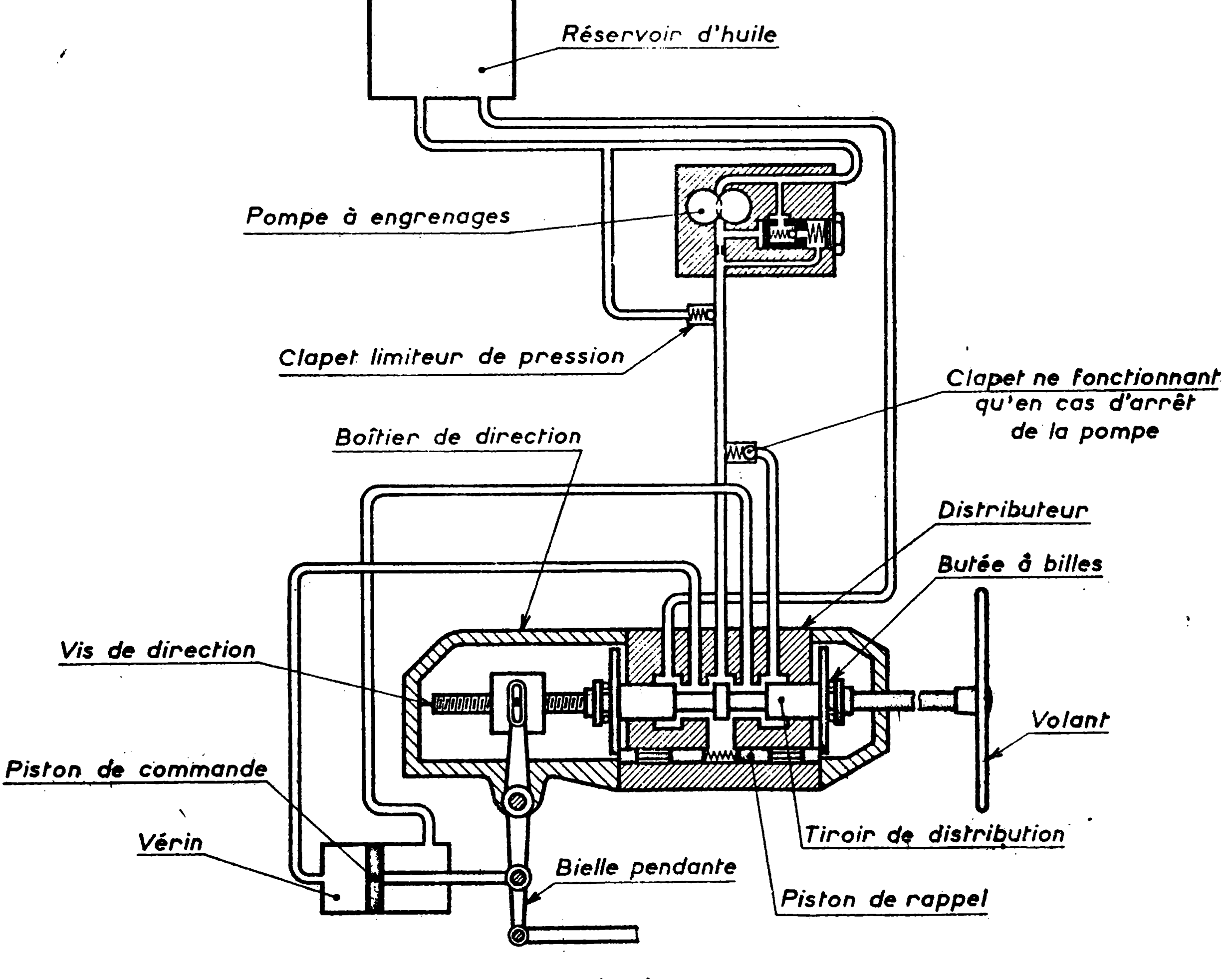


Fig. 1

LE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE

La pompe *(fig. 2 au verso)* est entraînée, soit par une courroie, soit par la distribution du moteur. Elle aspire l'huile du réservoir et la refoule vers le distributeur.

Un orifice calibré, un piston et un clapet assurent un débit sensiblement constant et une limitation de pression, quelle que soit la vitesse de la pompe, donc du moteur.

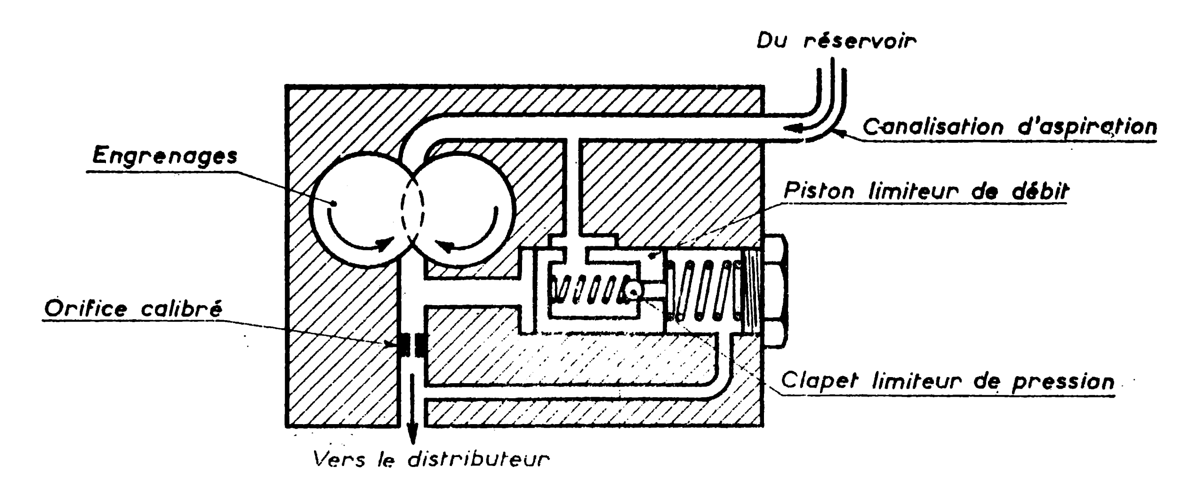


Fig. 2

— *L'orifice calibré et le piston limitent le débit :* l'excédent d'huile qui ne peut pas franchir l'orifice calibré repousse le piston limiteur de débit et retourne vers le canal d'aspiration *(fig. 3 a)*.

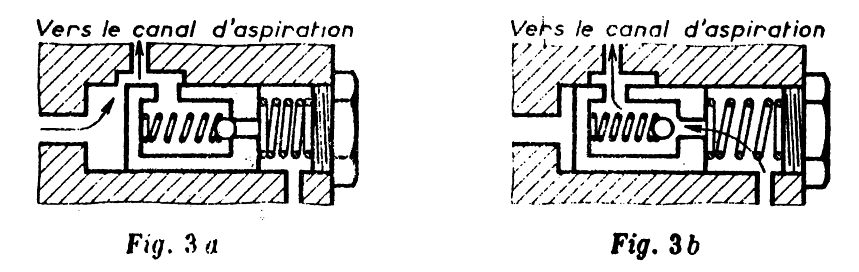


Fig. 3 a *Fig. 3 b*

— *Le clapet limite la pression :* lorsque la direction est arrêtée par les butées de braquage, la pompe continue à débiter et la pression augmente. Le clapet limiteur de pression s'ouvre et permet le retour de l'huile à la canalisation d'aspiration *(fig. 3 b)*.

LE FONCTIONNEMENT DU DISTRIBUTEUR

Le distributeur est constitué par un corps dans lequel débouchent plusieurs canalisations *(fig. 4)*.

— Dans la *gorge centrale,* débouche la canalisation d'admission de l'huile venant de la pompe.

— Dans les *deux gorges latérales,* partent les canalisations qui assurent le retour de l'huile vers le réservoir.

— *Deux autres canalisations* mettent en communication le corps du distributeur et l'une ou l'autre face du piston de commande.

A l'intérieur du corps du distributeur est placé un *tiroir solidaire* de la vis, du boîtier de direction et du volant. Ce tiroir est centré par *deux pistons de rappel* qui, repoussés par un ressort, viennent prendre appui sur *deux butées à billes.* Entre chacune des butées et le corps du distributeur existe un jeu de quelques dixièmes de millimètre.

Quand on tourne le volant, on fait monter ou descendre légèrement la vis, donc le tiroir. *Sur un seul des côtés,* le jeu entre le corps et la butée est rattrapé. C'est ce déplacement léger du tiroir qui assure le fonctionnement du distributeur.

Au repos

Au repos, c'est-à-dire en ligne droite, aucun effort n'est exercé sur le volant. Le tiroir est bien centré par les pistons de rappel *(fig. 4)*.

L'huile refoulée par la pompe, repart vers le réservoir par les deux canalisations de retour. La pression à l'intérieur du circuit est très faible.

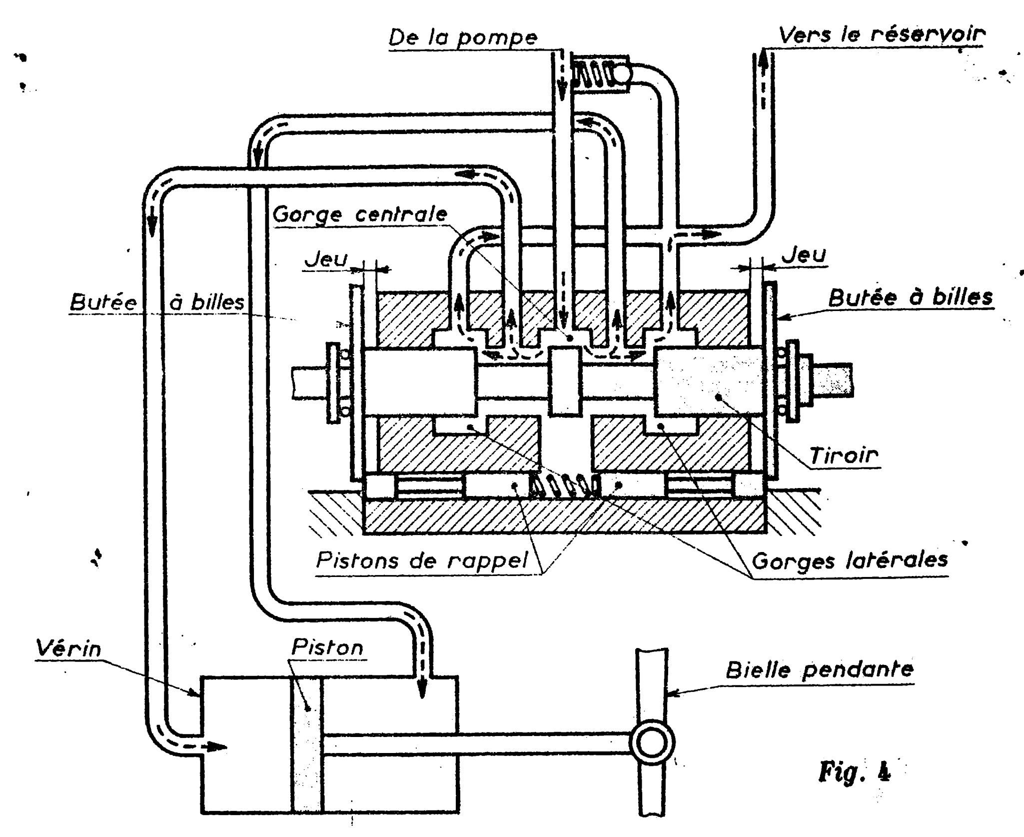


Fig. 4

Pendant le braquage

Pendant le braquage, le tiroir se déplace et l'une des butées vient en contact du corps *(fig.5).*

Les deux canalisations de retour se trouvent isolées de la canalisation d'admission. L'huile est alors dirigée vers le vérin ; la pression monte. Le piston est repoussé et agit sur la bielle pendante.

L'huile qui se trouve devant l'autre face du piston est refoulée vers le distributeur, puis vers le réservoir.

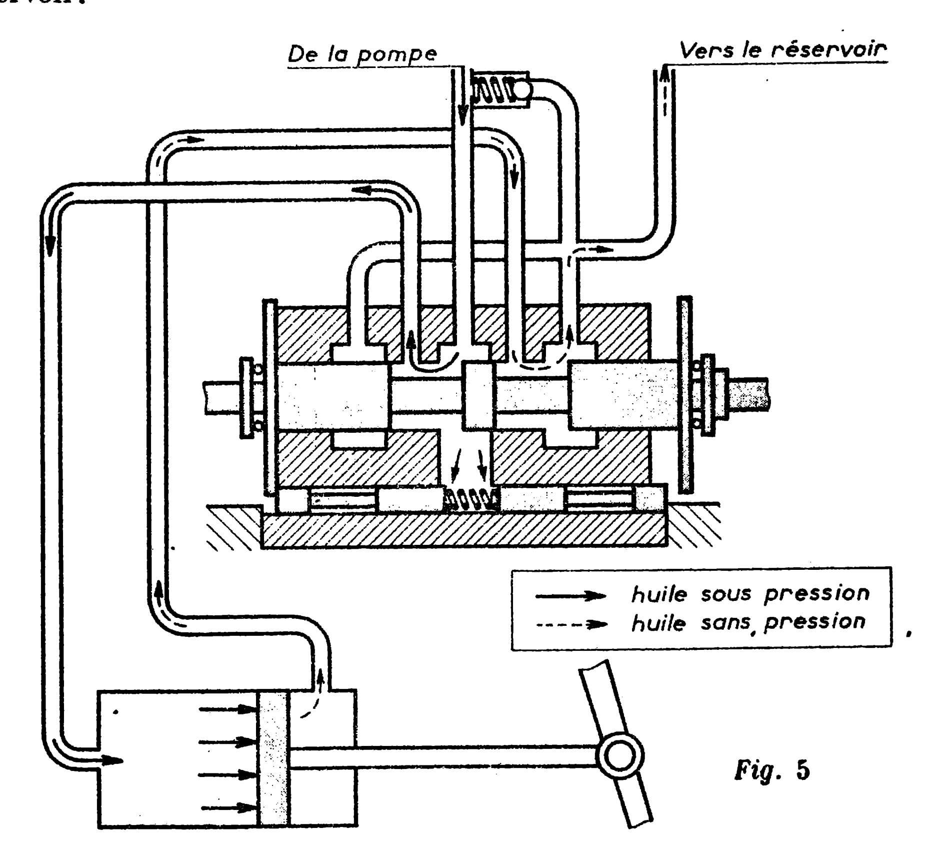


Fig. 5

Remarque :

Les pistons donnent une certaine sensibilité à la direction assistée. Pendant le braquage, la pression hydraulique est transmise également sur les pistons. Dès que l'on cesse d'agir sur le volant, le piston gauche qui n'est pas en butée *(fig. 5)*, tend à repousser le tiroir. Cette réaction, proportionnée à la pression hydraulique envoyée au vérin, est équilibrée par l'action du conducteur sur le volant, ce qui lui permet de *sentir* sa direction.

En cas de panne de la pompe

En cas d'arrêt de la pompe, la direction n'est plus assistée ; le chauffeur doit fournir seul l'effort nécessaire au braquage. Toutefois, l'huile contenue dans le vérin doit pouvoir circuler d'un côté à l'autre. Cette circulation est permise par le clapet reliant la canalisation de retour à la canalisation d'admission *(fig. 1)*.

Pendant le braquage, l'huile contenue dans le vérin est chassée d'un côté par le piston, passe dans le distributeur, puis dans la canalisation de retour.

Pendant le même temps, le piston crée une dépression dans l'autre partie du vérin. Cette dépression se retrouve dans la canalisation d'admission et provoque l'ouverture du clapet. L'huile peut alors revenir directement de la canalisation de retour au distributeur.

Remarques :

1° Certains montages d'assistance hydraulique comportent une pompe à palettes au lieu d'une pompe à engrenages.

2° Le distributeur peut être incorporé dans le vérin d'assistance, au lieu d'être fixé au boîtier de direction. Le tiroir, actionné par la bielle de direction, assure la distribution de l'huile sous pression, d'un côté ou de l'autre du piston de commande, dans le vérin d'assistance.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LES MOYEUX

Les moyeux de roues, les roues ou jantes amovibles, les pneumatiques, sont les derniers maillons de la chaîne cinématique qui assure le mouvement du véhicule.

LE RÔLE DES MOYEUX

Les moyeux, éléments de la transmission du mouvement, se placent aux extrêmités des ponts ou essieux. C'est sur eux que sont fixées les roues ou les jantes ; mais il faut noter que les moyeux sont conçus et fabriqués par le constructeur du véhicule, tandis que les roues et les jantes sont réalisées par le fabricant de pneumatiques.

Les moyeux supportent le poids du véhicule, par l'intermédiaire des roues et des pneumatiques.

Ils transmettent aux roues le mouvement de rotation qu'ils reçoivent des arbres de roues arrière ou avant.

Ils doivent pouvoir pivoter à l'extrêmité de l'essieu ou du pont avant, pour permettre de diriger le véhicule.

Enfin, c'est sur les moyeux que sont fixés les tambours de frein.

LES PRINCIPAUX TYPES DE MOYEUX

Les *figures* 1 *à* 4 vous présentent quatre des principaux types de moyeux utilisés sur les poids lourds.

— Le moyeu normal est prévu pour recevoir une roue à disque simple *(fig. 1).*

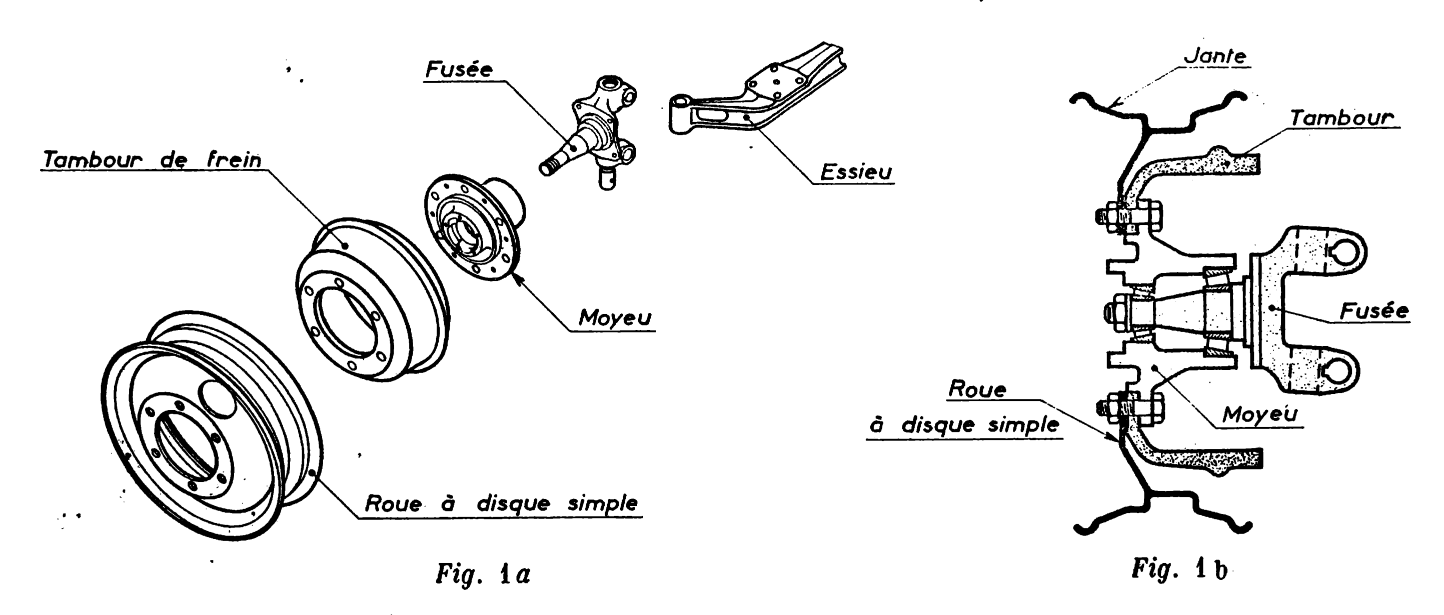


Fig. 1*a* — *Fig.* 1b

Les deux vues que nous vous présentons se complètent et doivent être étudiées par comparaison.

La *figure 1a* présente, *en vue éclatée,* les principales pièces du montage : fusée, moyeu, tambour de frein, roue. Pour ne pas surcharger le dessin, nous avons éliminé tous les éléments qui permettent l'assemblage : roulements, rondelles, goujons, écrous, etc...

La *figure 1b* montre, *en coupe,* les mêmes pièces montées sur la fusée. Seuls les éléments d'assemblages indispensables à la compréhension ont été indiqués : roulements, écrous.

— Le moyeu dit à rayons reçoit une jante simple amovible et indépendante qui est fixée au moyen de goujons et de *crapauds* de serrage *(fig. 2 a et 2 b).*

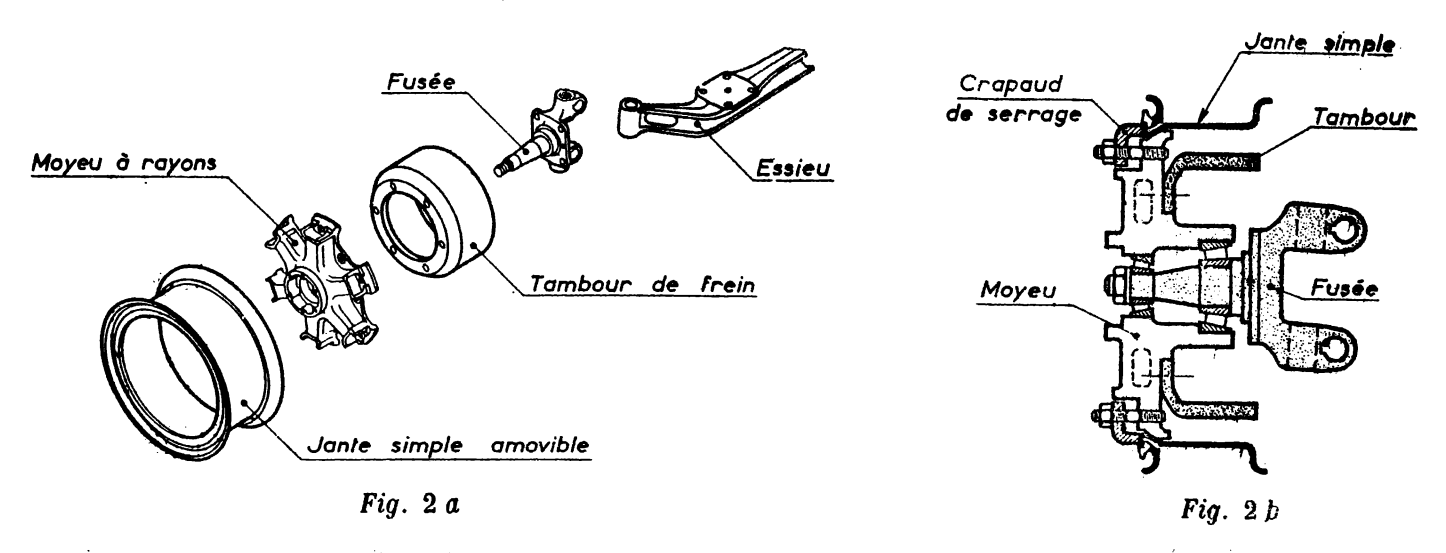


Fig. 2 a

Fig. 2 b

— Le moyeu pour roues à disques jumelées est monté sur les ponts arrière *(fig. 3 a et 3 b).*

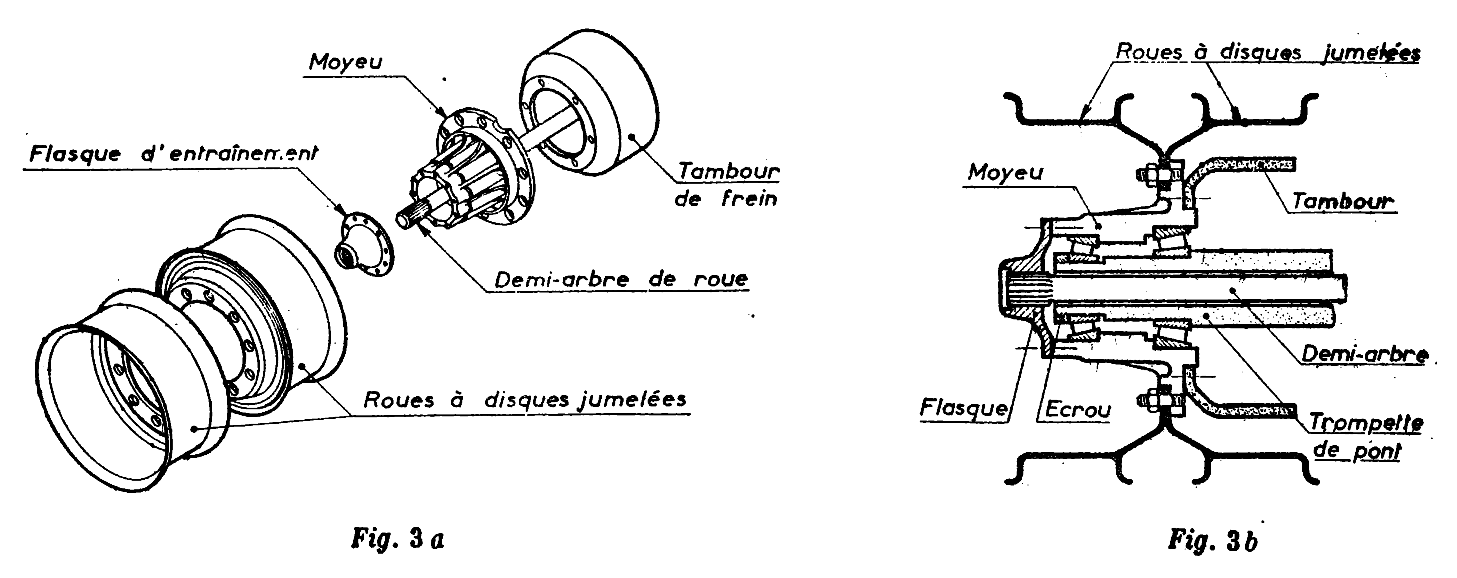


Fig. 3 a

Fig. 3 b

— Le moyeu peut comporter un porte-jante intermédiaire fixé par goujons et qui reçoit une ou deux jantes amovibles *(fig. 4 a et 4 b).*

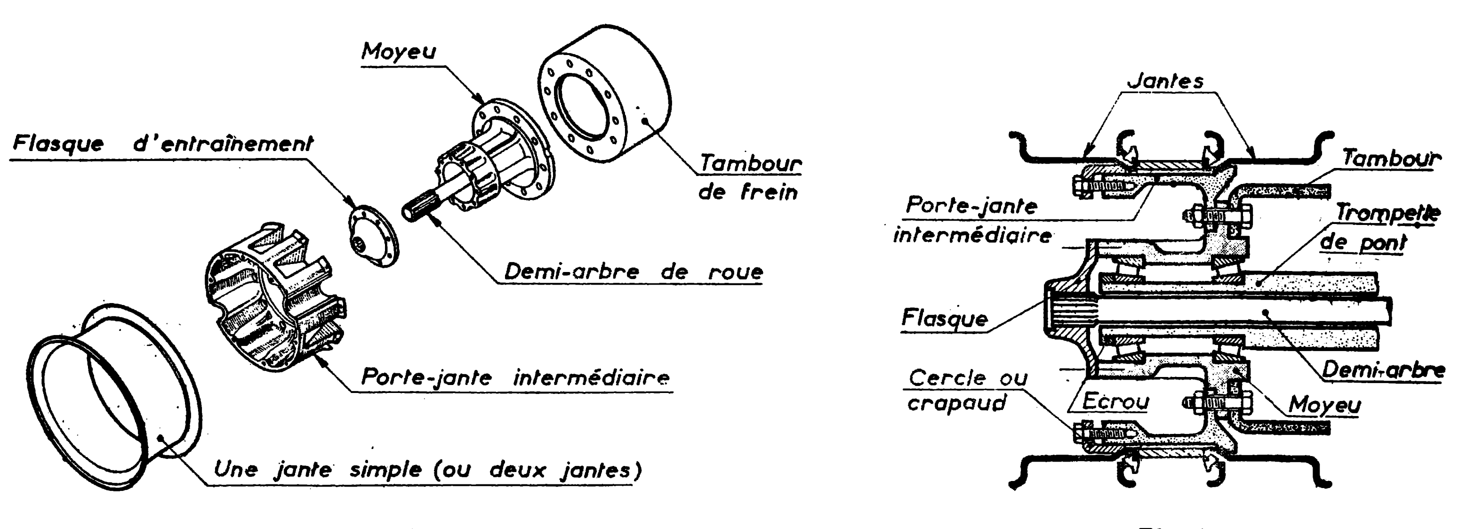


Fig. 4 a

Fig. 4 b

LE MONTAGE DES MOYEUX

L'étude des différents types de moyeux fait apparaître une différence de montage, selon qu'il s'agit de moyeux avant ou de moyeux arrière.

Le montage des moyeux avant

A l'avant, les moyeux sont montés sur les fusées d'essieux ou de ponts avant , par l'intermédiaire de deux roulements à rouleaux coniques dont les cages sont placées en force dans le moyeu. Les roulements proprement dits étant montés doux en rotation sur la fusée, le calage latéral s'effectue par un écrou freiné, vissé sur la fusée *(fig. 1 b et 2 b).*

Les effets calorifiques de la vitesse de rotation et de la charge supportée s'ajoutant, il est indispensable de prévoir un graissage suffisant et permanent des roulements.

Le montage des moyeux arrière

Dans le cas le plus courant de pont arrière, le moyeu vient s'adapter par l'intermédiaire de roulements à rouleaux coniques, en bout des trompettes de pont. Le principe de montage de ces roulements est le même que pour les moyeux avant. Un écrou freiné est vissé sur la trompette, réglant ainsi le jeu latéral des roulements *(fig. 3 b et 4 b)*.

Dans le cas d'entraînement simple, la transmission du mouvement est assurée par les demi-arbres de roues réunis au moyeu, par un flasque boulonné.

Pour certains véhicules, il est nécessaire d'adjoindre une démultiplication supplémentaire dans le moyeu. Cette démultiplication est assurée par un engrenage latéral en prise avec une couronne dentée portée par le moyeu.

LES TAMBOURS DE FREIN

Le freinage des véhicules est obtenu par frottement de garnitures sur les tambours de freins fixés sur les moyeux. Pour obtenir un freinage correct, il est nécessaire de procéder à un *réalésage de finition* de ces tambours, après montage sur les moyeux.

Les tambours en fonte traitée présentent les meilleures caractéristiques thermiques au frottement ; mais ils résistent assez mal aux chocs et aux vibrations.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LES ROUES

Vous avez pu remarquer, sur les figures de la leçon précédente, que les roues comportaient :

— soit une *jante seule,* montée directement sur le moyeu ou sur un porte-jante intermédiaire lui-même fixé au moyeu ;

— soit une *jante et un disque* assemblés par rivetage, par soudure électrique ou par cercle de serrage ; la fixation au moyeu se faisant par le disque.

LE RÔLE DES ROUES

Les roues, ou jantes, toujours porteuses, doivent résister au poids du véhicule chargé, et aux chocs de la route, en particulier en tous terrains ou sur les chantiers.
Elles doivent transmettre les efforts moteurs ou les efforts de freinage.
Elles déterminent, par leur orientation, la direction à imprimer au véhicule.

Il en résulte des efforts de torsion, flexion et écrasement, très souvent conjugués. Il faut signaler toutefois que le pneu, intermédiaire entre la roue et le sol, amortit ces efforts, et qu'il participe également à la suspension du véhicule.

Pour bien remplir leur rôle, les roues doivent présenter quatre qualités essentielles ; elles doivent :

— être *résistantes,* pour subir, sans déformations, tous les efforts énumérés ci-dessus ;
— être *équilibrées* statiquement *(au repos)* et dynamiquement *(en mouvement),* pour éviter le *shimmy* et les vibrations qui risquent de provoquer des ruptures ;
— posséder une *bonne conductibilité calorifique,* pour permettre la diffusion de la chaleur produite dans les tambours de frein.
— être *faciles à monter et à démonter.*

LES COTES CARACTÉRISTIQUES-LE MARQUAGE

Nous vous présenterons le principe du système de marquage le plus courant. L'expérience vous montrera que le marquage de certaines jantes et roues constituent des exceptions.

Les jantes seules

La *figure* 1 indique les cotes caractéristiques des jantes seules.

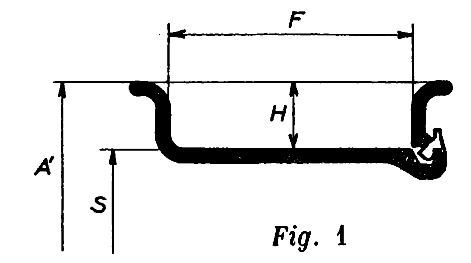


Fig. 1

S : Diamètre au *seat* ou siège. Diamètre intérieur de la jante.
F : Largeur intérieure de la jante.
H : Hauteur intérieure de la jante.
A' : Diamètre bord à bord.

En général, le marquage d'une jante seule comporte *trois indications :* deux valeurs numériques exprimées en pouces anglais *(1 pouce = 25, 4 mm)* et une lettre. Ainsi, par exemple, une jante seule sera marquée 20 × 9.00 V.

— Le premier nombre représente la cote S : diamètre au seat.
— Le deuxième nombre représente la cote F : largeur intérieure. Cette cote est toujours inférieure d'un quart environ à la grosseur du boudin du pneu.
— La lettre représente conventionnellement la cote H ; hauteur d'accrochage (P = 25, 5 mm — R = 28, 5 mm — S = 33 mm — T = 38 mm — V = 44, 5 mm — W = 51 mm).

Les roues à disques

Les cotes caractéristiques des roues à disques sont les mêmes que celles des jantes seules. Mais, il faut, en plus, indiquer le *déport* ou *écuanteur*. C'est la distance entre la face d'appui du disque sur le moyeu et le plan médian de la jante. La face d'appui du disque étant toujours du côté de la fixation sur le moyeu, le déport peut être *(fig. 2)* :

— *positif*, si l'axe de la jante passe à l'intérieur de la face d'appui ;
— *négatif*, dans le cas contraire ;
— *nul*, si la face d'appui passe par l'axe de la jante.

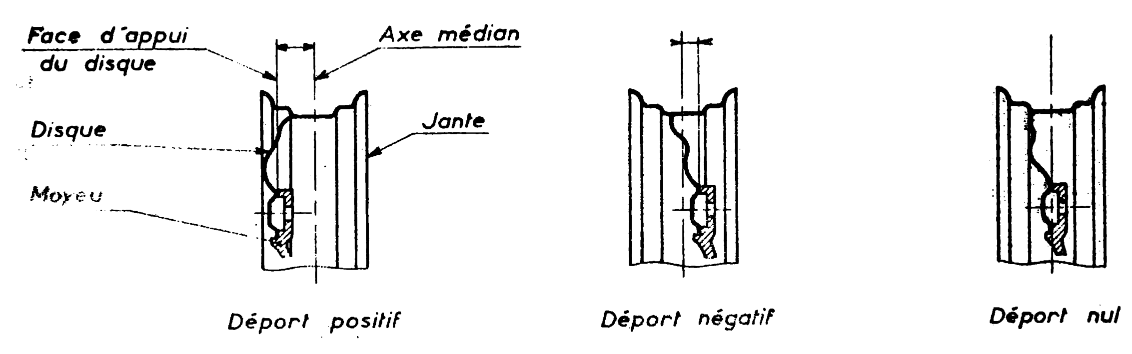


Fig. 2

Le marquage d'une roue à disque comporte les mêmes indications que la jante seule et, en plus, une *série plus ou moins importante* de valeurs numériques et de lettres ; par exemple 10 - 90 - P - 18.

— Le premier nombre représente le nombre de trous de fixation.
— Le deuxième nombre représente le déport. Si ce déport est négatif, il est précédé de la lettre N.
— La lettre qui suit est relative au type d'écrous de fixation (P : *base plate* — AM : *Budd)*, etc...
— Le dernier nombre représente le diamètre des axes de fixation.

Exemple

Les caractéristiques d'une roue à disque marquée 20 × 9.00 V, 10 - 90 - P - 18 sont les suivantes :

20 : Diamètre au seat, 20 pouces, soit environ 508 millimètres (25,4 × 20).
9.00 : Largeur intérieure de la jante, 9 pouces, soit environ 229,6 millimètres (25,4 × 9).
V : Hauteur d'accrochage. Pour la lettre V, environ 44,5 millimètres.
10 : Dix trous de fixation.
90 : Déport positif de 90 millimètres.
P - 18 : Ecrous à base plate de 18 millimètres de diamètre.

LES DIFFÉRENTES FORMES DE JANTES

Quatre types de jantes sont particulièrement employées en poids lourds :

— les jantes standard à deux seats plats *(fig. 3)*,
— les jantes intérimaires larges à un seat conique incliné *(fig. 4)*.

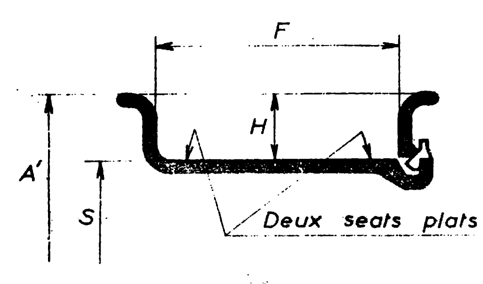


Fig. 3

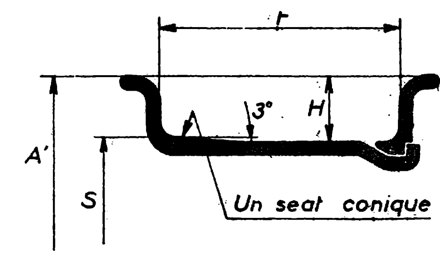


Fig. 4

— les jantes larges à deux seats coniques inclinés *(fig. 5)*,
— les jantes à deux seats inclinés et une base creuse *(fig. 6)*.

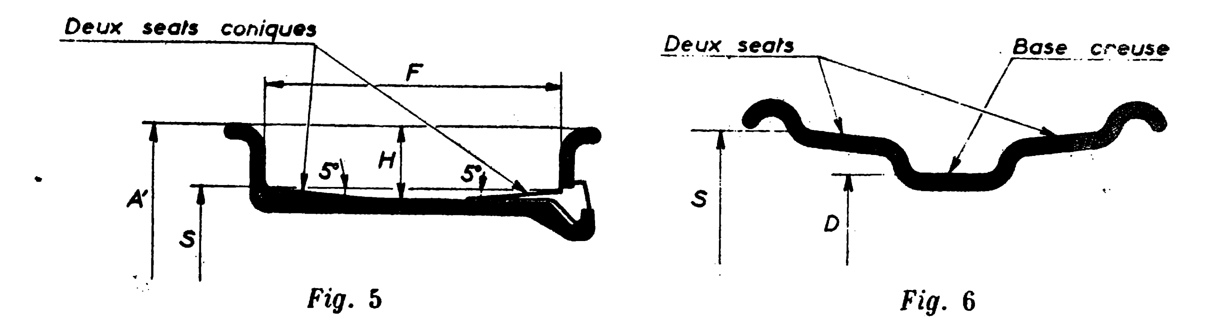


Fig. 5

Fig. 6

<u>Remarques</u> :

1° Le diamètre au seat est toujours mesuré à la partie supérieure de la plage inclinée.

2° Pour la jante à deux seats et une base creuse *(fig. 6)*, le diamètre D est 2 pouces et demi plus petit que le diamètre au seat S : $D = S - 2\ 1/2$

3° Pour permettre le montage des pneumatiques, un côté de la jante est généralement amovible et maintenu en position, soit par une barrette calibre d'écartement *(jante Michelin)*, soit par simple élasticité *(jante Dunlop)*. Toutefois, certaines jantes pour pneumatiques sans chambre sont d'une seule pièce *(fig. 6)*.

LA FIXATION DES JANTES SEULES

Deux modes de fixation des jantes seules sont utilisées, selon qu'il s'agit du montage en simple ou du montage en jumelé.

Le montage en simple

Le moyeu est terminé par un épaulement extérieur tronconique. La jante porte le même épaulement *(fig. 7)*. Les diamètres minimum et maximum du moyeu et de la jante ne diffèrent que par le jeu nécessaire au glissement.

Le moyeu porte sur sa face extérieure, un certain nombre d'axes répartis circulairement.

Pour le montage, les épaulements viennent buter l'un contre l'autre. Un cercle de serrage métallique *(section en L)* s'engage dans les axes et vient s'appliquer contre le bord de la jante. Ce cercle, bloqué par des écrous vissés sur les axes, immobilise la jante sur le moyeu.

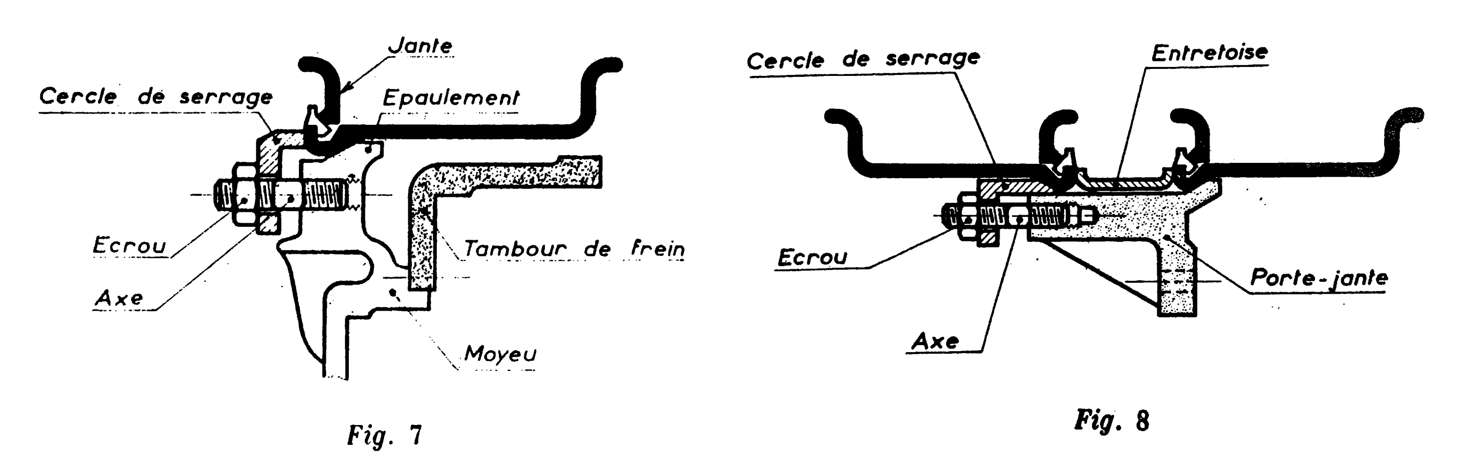


Fig. 7

Fig. 8

Le montage en jumelé

Les jantes sont les mêmes ; par contre, le moyeu ou le porte-jante a une largeur suffisante pour admettre deux épaulements tronconiques de jantes et une entretoise *(fig. 8)*.

LA FIXATION DES ROUES DISQUES

La face d'appui des disques présente deux types de perçage :

— un perçage central permettant le passage du nez de moyeu,
— une série de trous de diamètres déterminés, répartis circulairement.

La face d'appui du moyeu est usinée et porte des axes dont la répartition correspond à celle des trous de la roue qui doit être adaptée.

Le blocage de la roue sur le moyeu est obtenu par des écrous vissés sur les axes. Les écrous et les axes doivent être de même type ; actuellement, en France, on rencontre trois types d'axes et écrous :

— les axes à base plate encastrée dans le moyeu, pour écrou à base plate,
— les axes à base plate encastrée dans le moyeu, pour écrou *cul d'œuf,*
— les axes et écrous Budd *(ou Américains).*

Sur les véhicules utilitaires, les roues sont généralement fixées par 6, 8 ou 10 axes de 18, 22 ou 24 millimètres.

Le montage en simple

La roue, à déport généralement positif s'applique sur la face d'appui du moyeu, les axes s'engageant dans les trous du disque *(fig. 9)*.

Le blocage est obtenu en vissant sur les axes les écrous correspondant aux axes employés.

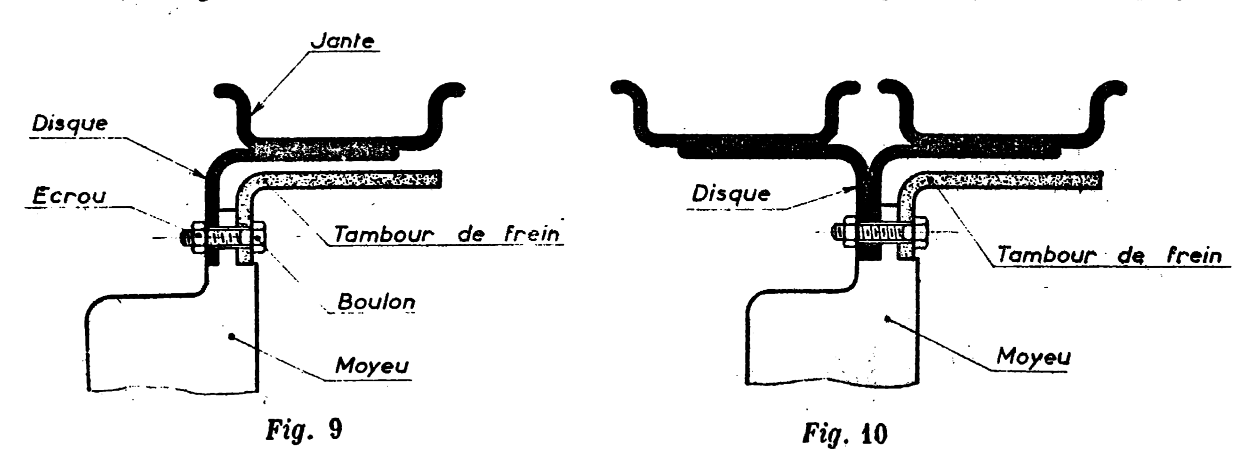


Fig. 9 *Fig.* 10

Le montage en jumelé

La jante intérieure est présentée comme précédemment, alors que la jante extérieure est présentée à l'envers *(fig. 10)*.

L'écartement des jantes est obtenu soit uniquement par l'addition des déports, soit en intercalant, entre les disques des jantes, un cercle métallique, correctement percé, pour s'engager dans les axes.

Le blocage est obtenu comme précédemment.

L'ordre de serrage des écrous

Quel que soit le type de roue à disque employé, il est fortement recommandé de serrer les écrous dans l'ordre indiqué sur la *figure* 11.

Si le nombre d'écrous est différent, il faut suivre le même principe et *serrer en croix,* en se décalant d'un écrou après chaque croix.

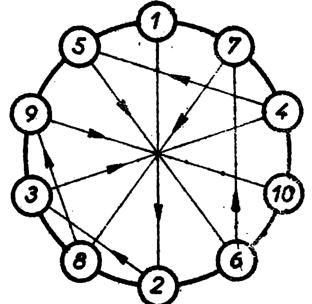


Fig. 11

Toutes les leçons doivent être conservées.

LES PNEUMATIQUES

Actuellement, deux types de pneumatiques sont employés sur les véhicules poids lourds : le pneumatique ordinaire et le pneumatique sans chambre.

LE PNEUMATIQUE ORDINAIRE

Le pneumatique ordinaire *(fig. 1)* comprend une enveloppe, un flap, une chambre à air et, dans certains cas, un pare-clous. La chambre à air et le pare-clous ne nécessitent pas d'étude particulière.

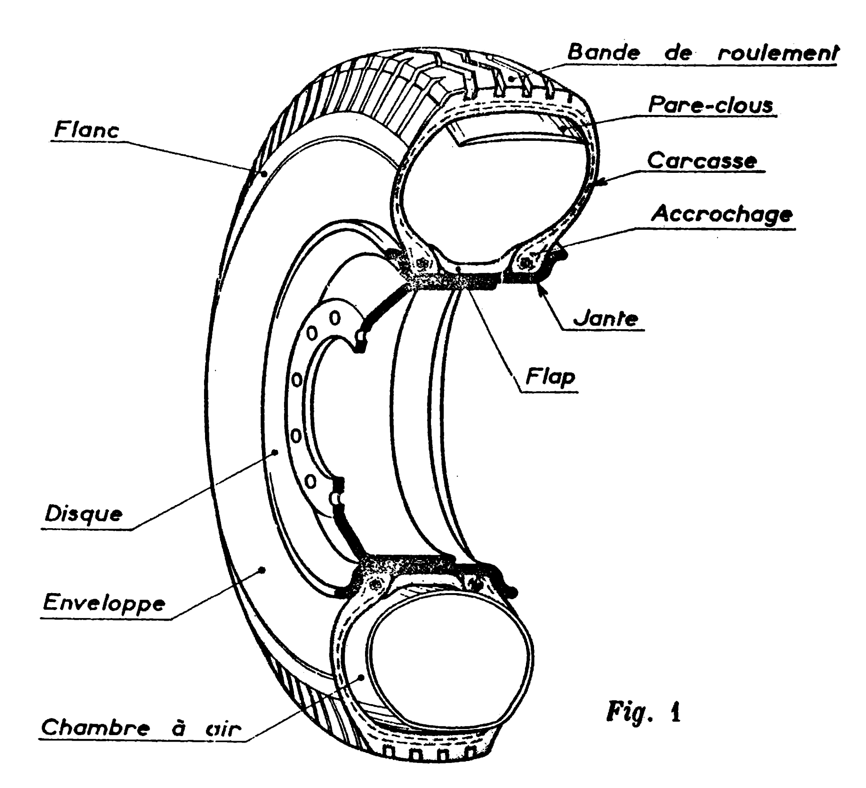


Fig. 1

L'enveloppe

L'enveloppe est constituée par la bande de roulement, la carcasse et l'accrochage.

— La *bande de roulement* est constituée de nappes de caoutchouc. Les dessins, choisis par le fabricant, correspondent à une utilisation sur un sol déterminé et quelquefois à un sens de rotation préférable.

— La *carcasse,* composée de plis textiles ou métalliques, donne sa résistance au pneumatique.

— L'*accrochage* est la partie du pneumatique directement en contact avec la jante et des outils, pour le montage et le démontage. Elle doit donc être très résistante. Il se termine par un talon qui évite à la chambre à air d'être au contact d'un angle vif.

Le flap

Le flap évite à la chambre à air d'être au contact des angles vifs formés par la jante ou le pneumatique. Il doit donc être très résistant.

Les cotes du flap dépendent de la largeur de la jante *(cote F,)* de son diamètre au seat *(cote S)* et de la dimension du pneu à monter.

LE PNEUMATIQUE SANS CHAMBRE

Ce type de pneumatique est de plus en plus souvent employé en poids lourds. Son enveloppe est semblable à celle des pneumatiques ordinaires ; mais elle ne contient ni chambre à air, ni pare-clous, ni flap.

L'air est prisonnier entre l'enveloppe et la jante qui est conçue spécialement pour assurer une parfaite étanchéité et porte la valve de gonflage.

Lorsque la jante possède un côté amovible, l'étanchéité entre la jante et l'enveloppe doit être assurée par un joint. Pour les autres jantes, ce joint est inutile.

LE MARQUAGE DES PNEUMATIQUES

Le marquage des enveloppes pour poids lourds est normalisé ; cependant, l'usage vous montrera que la normalisation n'est pas toujours respectée. Outre la marque du fabricant, les flans des pneumatiques portent généralement plusieurs indications concernant les dimensions, la conception et le dessin, la résistance.

Les dimensions nominales

Les dimensions nominales sont généralement exprimées en pouces et quelquefois en millimètres ou centimètres.

— Le premier groupe de chiffres exprime la grosseur G du boudin *(fig. 2)*.

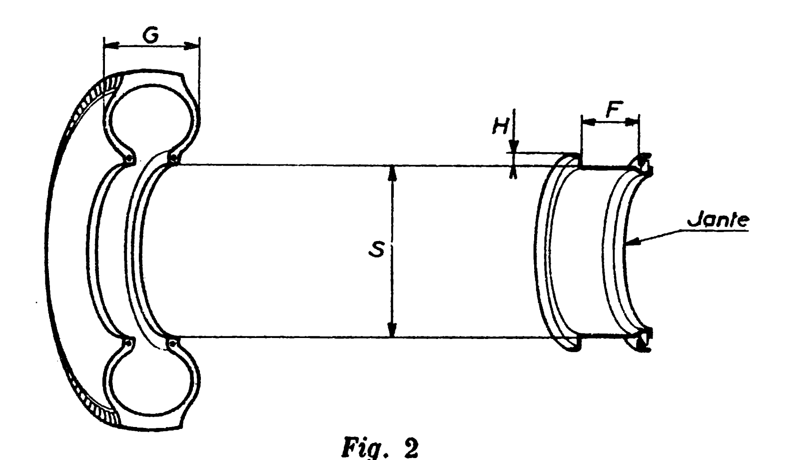


Fig. 2

Les fabricants français n'emploient pas toujours la normalisation. Ils remplaçent quelquefois la cote en pouces par une lettre ou un chiffre. Les correspondances de valeurs sont données approximativement par le tableau ci-dessous.

Fabricants	Grosseur de boudins des pneus poids lourds					
MICHELIN	7.50	8.25	9.00	10.00	11.00	12.00	14.00
MICHELIN	A	B	C	D	E	F	G
DUNLOP	1	2	3	4	5	6	
KLEBER COLOMBES	A1	B2	C3	D4	E5	F6	

Le tableau montre que des pneumatiques de dimensions équivalentes peuvent être marqués 10.00, D, 4 ou D4, pour certains pneus spéciaux.

— Le deuxième groupe de chiffres exprime le diamètre intérieur S à l'accrochage. Cette cote correspond au diamètre au seat de la jante.

Ainsi, pour un pneumatique portant les indications C3 — 20, la grosseur du boudin sera environ de 229 millimètres *(25,4 × 9)* et le diamètre à l'accrochage de 508 millimètres *(25,4 × 20)*. Ce pneu pourra être monté sur une jante marquée 20 × 6.00.

La conception et le dessin

Dans certains cas, l'enveloppe porte une ou plusieurs lettres qui précisent la conception et le dessin du pneu. Chaque fabricant ayant établi sa nomenclature propre, il n'est pas possible d'entrer dans le détail.

Notez seulement que les enveloppes sans chambre sont généralement marquées SC ou T *(Tubeless).*

La résistance

A l'origine, l'industrie américaine indiquait le nombre réel de plis *(ou nappes)* coton constituant les pneumatiques ; mais aucune définition précise de la résistance du pli n'a été établie.

A l'heure actuelle, les fabricants de pneumatiques indiquent quelquefois la résistance de leurs pneus par le nombre de plis coton du pneumatique capable des mêmes performances. Cette indication du nombre approximatif de plis porte le nom de *ply rating* (PR). Ainsi, un pneu marqué PR. 12 aura approximativement la résistance d'un pneu comptant 12 plis coton.

Exemple

Les caractéristiques d'un pneu marqué *Michelin* 16.00 — 25 XR PR. 28 sont les suivantes :

Michelin	:	Nom du fabricant.
16.00	:	Grosseur du boudin, 16 pouces, soit environ 406 millimètres.
25	:	Diamètre intérieur à l'accrochage, 25 pouces, soit environ 635 millimètres.
XR	:	Lettres précisant la conception et le dessin du pneumatique.
PR. 28	:	Résistance équivalente à celle d'un pneu comptant 28 plis coton.

LE CHOIX D'UN PNEUMATIQUE

Pour l'appariement avec la jante, il faut se référer au catalogue des fabricants de roues. Par contre, pour l'adaptation d'un pneumatique sur un véhicule, il faut connaître :

— la *texture* de la carcasse et le dessin de la bande de roulement qui correspondent à des conditions de vitesses et de sol déterminées ;

— la *limite de charge* dépendant simultanément de la vitesse, de la charge et de la pression de gonflage ;

— la *grosseur du boudin,* pour vérifier le débattement latéral et la possibilité d'un jumelage éventuel ;

— les *rayons* en charge et sans charge, pour vérifier le débattement vertical.

L'ÉQUILIBRAGE DES ROUES ET DES PNEUMATIQUES

Un déséquilibre des ensembles tournants avant donne naissance à des phénomènes qui, en dehors des désagréments de conduite, risquent de provoquer des détériorations mécaniques pouvant entraîner l'accident. Un balourd de cent grammes à la périphérie de la roue produit des efforts de l'ordre de 10 kilogrammes à 60 kilomètres heure *(25 kg à 100 km/h).* Ces efforts intermittents provoquent l'impression de sauter sur des obstacles, à intervalles réguliers ou des efforts de braquage alternativement, à droite ou à gauche. Ces phénomènes appelés *shimmy* sont amplifiés par la suspension, à certaines périodes dites de *résonnance.* Il en résulte une usure prématurée de tous les organes de suspension et de direction entraînant les ruptures de fusées, de bielles de directions, de rotules, d'amortisseurs, etc ...

L'équilibre des ensembles tournants doit être assuré aussi bien quand le véhicule est à l'arrêt *(équilibre statique)* que lorsqu'il roule *(équilibre dynamique).*

L'équilibre statique

La roue étant placée sur un axe horizontal, sans frottement, doit rester immobile. S'il y a un balourd, la roue est entraînée en rotation et le point de ce balourd revient en bas.

Il est très facile de contrôler l'équilibrage statique de l'ensemble tournant sur le véhicule. Il suffit de soulever l'essieu avant et de faire tourner la roue à la main. Elle doit s'arrêter, sans revenir en arrière. S'il y a balourd de l'ensemble roue-moyeu-tambour, la roue se balance, alternativement dans un sens et dans l'autre, avant de s'arrêter. A ce moment, le balourd se trouve à la partie basse.

Pour rétablir l'équilibre, il suffit de fixer sur la jante des masses d'équilibrages, en un point diamètralement opposé au balourd.

L'équilibrage dynamique

Une roue peut être en équilibre statique et en déséquilibre dynamique. Ainsi, on peut compenser un balourd F_1 exercé au point A, en fixant en B une masse d'équilibrage *(fig. 3).* La roue est alors équilibrée statiquement ; elle reste en équilibre, dans n'importe quelle position.

Par contre, à grande vitesse, la force F_2, décalée par rapport à l'axe, tendra à coucher la roue sur son axe de rotation *(effet gyroscopique).* La roue ne sera donc pas équilibrée dynamiquement.

En répartissant de part et d'autre de la jante les masses d'équilibrage, en B et C *(fig. 4),* les forces F_2 et F_3 créent des effets gyroscopiques qui s'annulent. L'équilibre dynamique est assuré.

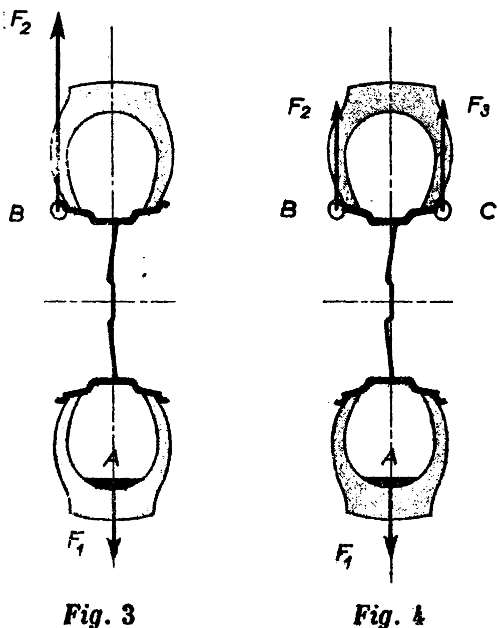


Fig. 3 *Fig.* 4

Notons que si l'on veut effectuer un équilibrage valable, surtout en poids lourd, il importe de l'effectuer sur le véhicule même, afin de se placer dans les conditions d'emploi. En effet, les moyeux et tambours peuvent être déséquilibrés statiquement et l'équilibrage de la roue seule ne résout pas le problème. Cet équilibrage sur le véhicule nécessite un matériel assez complexe, donc coûteux, qui se légitime par la qualité du travail effectué.

Remarque :

La nécessité de l'équilibrage sur le véhicule nous amène à remarquer que lors du démontage d'une roue avant, pour une intervention quelconque *(autre que sur l'ensemble tournant),* il est nécessaire de repérer la position de la roue par rapport au moyeu *(goujon et trou correspondant),* de manière à la remonter dans la même position, si on ne veut pas refaire l'équilibrage.

Toutes les leçons doivent être conservées.

GÉNÉRALITÉS SUR LE FREINAGE

Tout véhicule automobile doit posséder un équipement de freinage qui réponde aux normes de sécurité correspondant aux dispositions précisées par le code de la route *(Décret n° 54-724 du 10-7-1954 article 79).* Cet équipement doit être capable d'assurer le ralentissement ou l'arrêt du véhicule .

QUELQUES DÉFINITIONS

Avant d'aborder l'étude du freinage proprement dit, il est utile de préciser quelques définitions.

La vitesse

La vitesse V d'un véhicule est la distance parcourue pendant l'unité de temps. Elle s'exprime couramment en kilomètres-heure *(km/h).* Mais il est parfois nécessaire de l'évaluer en mètres par seconde *(m/s).* Ainsi, un véhicule se déplaçant à 54 km/h parcourt : $\frac{54\,000}{3\,600} = 15$ m/s.

La décélération

La décélération γ *(lettre grecque gamma)* d'un véhicule est la diminution de vitesse que son dispositif de freinage permet d'obtenir, en une seconde. Lorsque la vitesse d'un véhicule passe de 54 km/h *(15 m/s)* à 36 km/h *(10 m/s),* en une seconde, on dit que la décélération est de 5 mètres-seconde par seconde *(5 m/s/s ou 5 m/s²).*

On démontre mathématiquement que la décélération ne dépend pas du poids du véhicule, mais seulement du coefficient d'adhérence des roues au sol.

Le coefficient d'adhérence

Le coefficient d'adhérence *(f)* d'un véhicule varie selon l'état des pneus et l'état de la route. Par exemple, il est :

— *excellent* (0,8) avec des pneus neufs, sur un sol rugueux et sec ; ce coefficient est rarement atteint :

— *bon* (de 0,6 à 0,7) avec des pneus en bon état *(0 à 50 % d'usure),* sur un sol sec normal ;

— *pratiquement nul* (0,03) avec des pneus lisses, sur un sol verglacé.

Le calcul de la décélération

La décélération d'un véhicule se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$\gamma = 9{,}81 \times f$$

γ = Décélération en mètres-seconde par seconde.
9,81 = Coefficient constant.
f = Coefficient d'adhérence.

Ainsi, lorsque le coefficient d'adhérence des roues d'un véhicule est de 0,7, la décélération qui peut être obtenue est de :

$$\gamma = 9{,}81 \times 0{,}7 = 6{,}867 \text{ m/s/s}$$

La distance d'arrêt d'un véhicule

L'efficacité d'un système de freinage se caractérise par la distance d'arrêt *d* du véhicule. Cette distance dépend essentiellement de la vitesse du véhicule et de la décélération qu'il est possible d'obtenir. La distance d'arrêt se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$d = \frac{V^2}{2 \times \gamma}$$

d = Distance d'arrêt en mètres.
V = Vitesse en mètres-seconde.
γ = Décélération en mètres-seconde par seconde.

Exemple de calcul

Quelle est la distance nécessaire pour arrêter un véhicule lancé à 50 km/h, si le coefficient d'adhérence est de 0,6 ?

Vitesse du véhicule exprimée en m/s :

$$\frac{50\,000}{3\,600} = 13{,}88 \text{ m/s}$$

Décélération :

$$\gamma = 9{,}81 \times f$$

$$\gamma = 9{,}81 \times 0{,}6 = 5{,}886 \text{ m/s/s}$$

Distance d'arrêt :

$$d = \frac{V^2}{2 \times \gamma}$$

$$d = \frac{13{,}88 \times 13{,}88}{2 \times 5{,}886} = 16{,}36 \text{ m}$$

Le temps mort

En réalité, dans le calcul de la distance d'arrêt, il faut tenir compte du temps mort, c'est-à-dire du temps qui s'écoule entre le moment où le conducteur voit l'obstacle et le moment où les freins entrent en action. Pendant ce temps mort, le véhicule continue à rouler à pleine vitesse. Ainsi, dans l'exemple précédent, si l'on estime le temps mort à une demi-seconde, il faudra ajouter à la distance d'arrêt calculée ci-dessus : $\frac{13{,}88}{2} = 6{,}94$ mètres.

La distance d'arrêt réelle sera alors de :

$$16{,}36 + 6{,}94 = 23{,}30 \text{ m}$$

Remarques :

1° La formule $d = \frac{V^2}{2\gamma}$ n'est applicable que si le véhicule se déplace sur un sol sensiblement horizontal. Dans le cas d'une rampe, le calcul doit tenir compte de l'angle de la pente ; mais la formule dépasse le cadre de ce cours élémentaire.

2° Pour ne pas avoir à effectuer des calculs, il existe des courbes qui permettent d'évaluer la distance nécessaire pour arrêter un véhicule, compte tenu d'une certaine décélération, pour différentes vitesses. La *figure* 1 *ci-contre* a été tracée pour une décélération de 6 m/s/s, un temps mort d'une demi-seconde et des vitesses allant de 10 à 100 km/h.

LES MOYENS DE FREINAGE UTILISÉS SUR UN VÉHICULE INDUSTRIEL

Un véhicule industriel utilise plusieurs moyens de freinage et d'arrêt.

— Le *frein moteur* ne peut assurer que le simple ralentissement du véhicule.

— Le *frein principal* permet d'obtenir, par frottement de pièces fixes sur des pièces mobiles, le ralentissement et l'arrêt du véhicule.

— Le *frein de secours* à commande manuelle, doit être indépendant et capable d'arrêter le véhicule en cas de défectuosité du dispositif principal.

— Le *frein de parcage* à commande manuelle, doit être indépendant. Il assure l'immobilisation du véhicule, à l'arrêt. Il peut être utilisé comme frein de secours, quand il permet d'obtenir la décélération imposée par le code de la route.

— Le *ralentisseur* assure le freinage du véhicule par un dispositif n'ayant aucune action mécanique : hydraulique, électrique ou placé sur l'échappement. Sur route accidentée, le ralentisseur présente l'avantage d'éviter l'échauffement et l'usure du dispositif principal.

LES QUALITÉS DU FREIN PRINCIPAL UTILISÉ SUR UN VÉHICULE INDUSTRIEL

Le frein principal utilisé sur un véhicule industriel doit présenter les qualités énumérées ci-dessous :

— La puissance de freinage doit être grande, pour un effort modéré exercé sur la pédale.

— Le freinage doit agir rapidement, mais progressivement. Il doit être régulier et bien réparti sur les différentes roues. Ces qualités permettent au dispositif de freinage de ne pas influencer la tenue de route.

— L'usure des organes soumis au frottement doit être faible.

— L'entretien du dispositif de freinage doit être simple et les réglages pas trop fréquents.

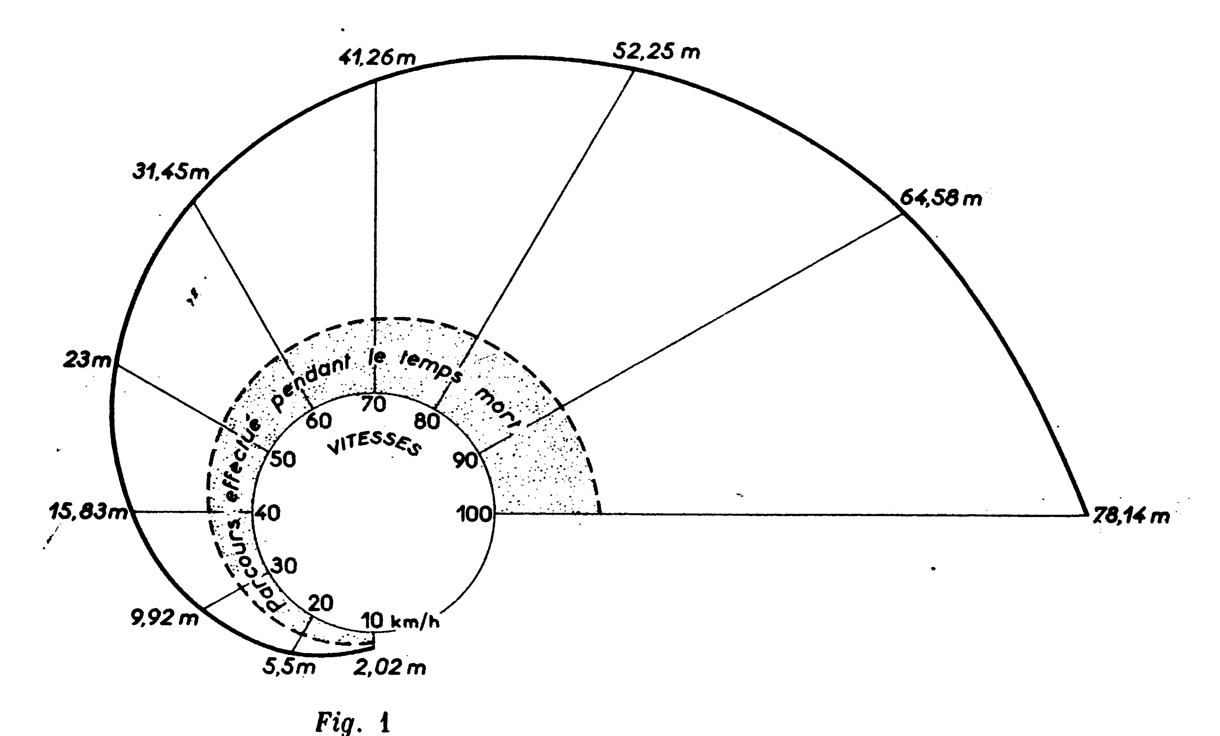


Fig. 1

LE PRINCIPE DE FREINAGE DU DISPOSITIF PRINCIPAL

Le freinage principal d'un véhicule est toujours assuré par frottement. En pratique, ce frottement peut être obtenu selon trois dispositifs différents.

Les freins à contraction

Dans ce type de frein, le freinage est obtenu par un ruban ou des machoires munies de garnitures qui se serrent sur un élément en rotation. Ce système ancien n'est pratiquement plus utilisé.

Les freins à expansion

Dans ce modèle, le freinage est obtenu par deux segments munis de garnitures qui, pivotant à leur partie inférieure viennent frotter sur la face interne d'un tambour cylindrique solidaire de la roue.

L'écartement des segments à leur partie supérieure, est obtenu :

— par un cylindre contenant deux pistons commandés par le liquide hydraulique *(fig. 2);*

— par une came reliée au piston d'un cylindre commandé par l'air comprimé *(fig. 3 au verso).*

Lorsque l'action de la commande disparaît, les segments sont ramenés par des ressorts de rappel. Le frottement des garnitures sur le tambour de frein est interrompu ; le freinage cesse.

Des cames permettent de modifier la position des segments dans le tambour.

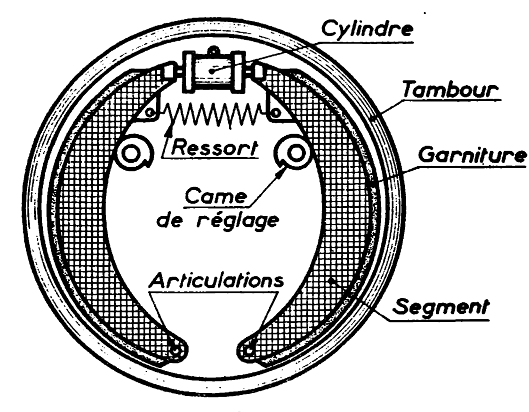


Fig. 2

Les freins à disque

Ce type de freins, couramment répandu sur les voitures légères, apparaît maintenant sur les véhicules industriels. La surface de frottement solidaire de l'ensemble en rotation est un disque parallèle au plan de la roue, sur lequel viennent se serrer des éléments de garnitures commandés hydrauliquement *(fig. 4).*

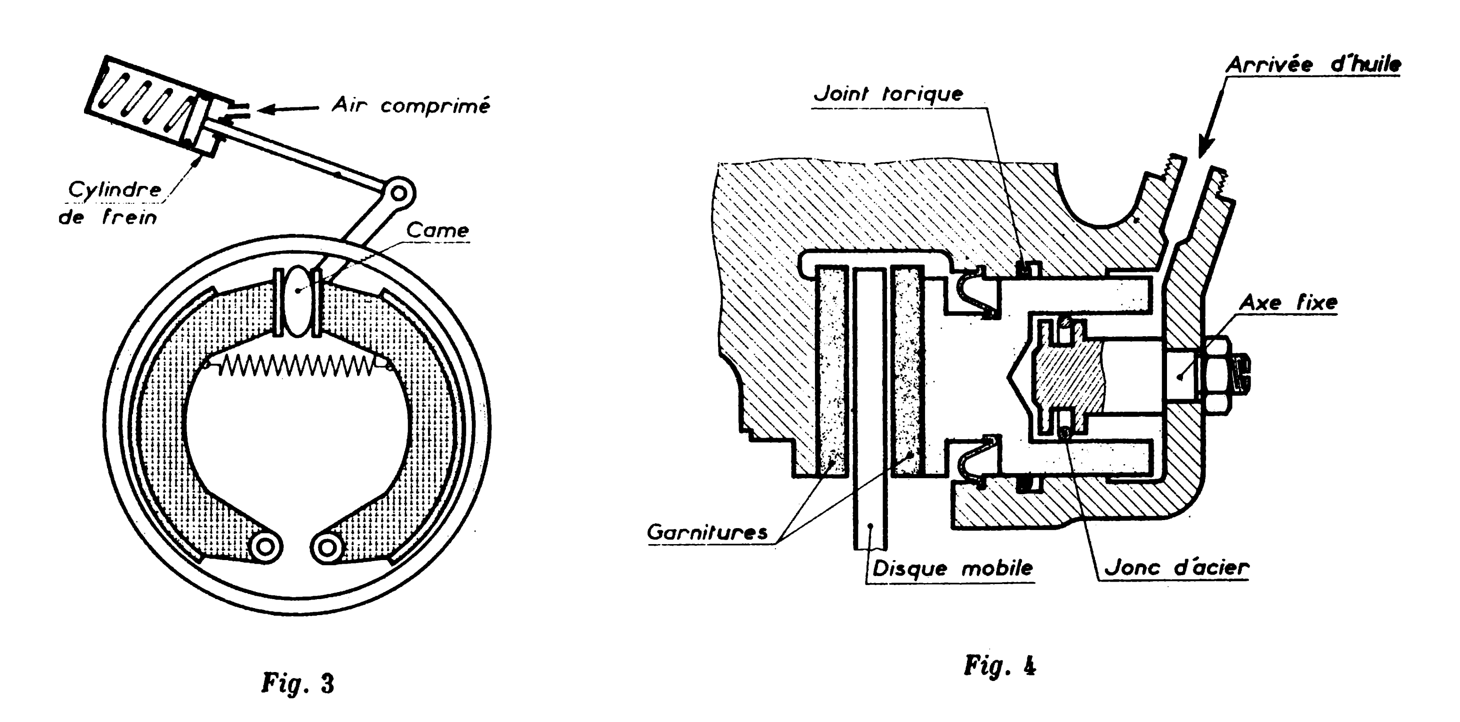


Fig. 3

Fig. 4

Dans les trois types de systèmes de freinage énumérés, les garnitures frottant sur l'élément en rotation *(tambour-disque)* transforment l'énergie cinétique *(énergie due au mouvement)* en énergie calorifique *(dégagement de chaleur).*

LA NÉCESSITÉ DES COMMANDES ASSISTÉES

Une des qualités du système de freinage consiste à obtenir le freinage maximum tout en exerçant un effort minimum sur la pédale. Sur les véhicules industriels, même en déployant un effort considérable, le conducteur ne peut obtenir un freinage efficace avec un dispositif tel qu'il existait il y a de nombreuses années, ou avec le seul dispositif hydraulique monté sur les voitures légères.

Les assistances qui équipent les systèmes de freinage des véhicules industriels amplifient l'effort du conducteur sur la commande, augmentent ainsi l'efficacité du freinage et permettent au dispositif de remplir les conditions prescrites par le code de la route. Nous verrons que les dispositifs d'assistance varient selon que la commande des freins est hydraulique, pneumatique ou oléopneumatique.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE FREINAGE À COMMANDE HYDRAULIQUE

Le dispositif de freinage hydraulique, tel qu'il existe sur les voitures légères ne peut être adapté sur les véhicules industriels, sans un système d'assistance.

La source d'énergie utilisée pour le fonctionnement du système d'assistance peut être :

— la *dépression* fournie par le moteur (moteur à essence sur voitures légères et camionnettes) ou par pompe à vide (moteur diesel) ;

— l'*air comprimé* fourni par un compresseur.

L'ASSISTANCE PAR DÉPRESSION: L'hydrovac

Le dispositif de freinage à commande hydraulique assistée par dépression comporte *(fig. 1)*:

— un *circuit hydraulique* normal : pédale, maître-cylindre, cylindres récepteurs,

— un *hydrovac,* appareil qui utilise la dépression fournie par la *pompe à vide,* pour amplifier l'effort de freinage dans le circuit hydraulique.

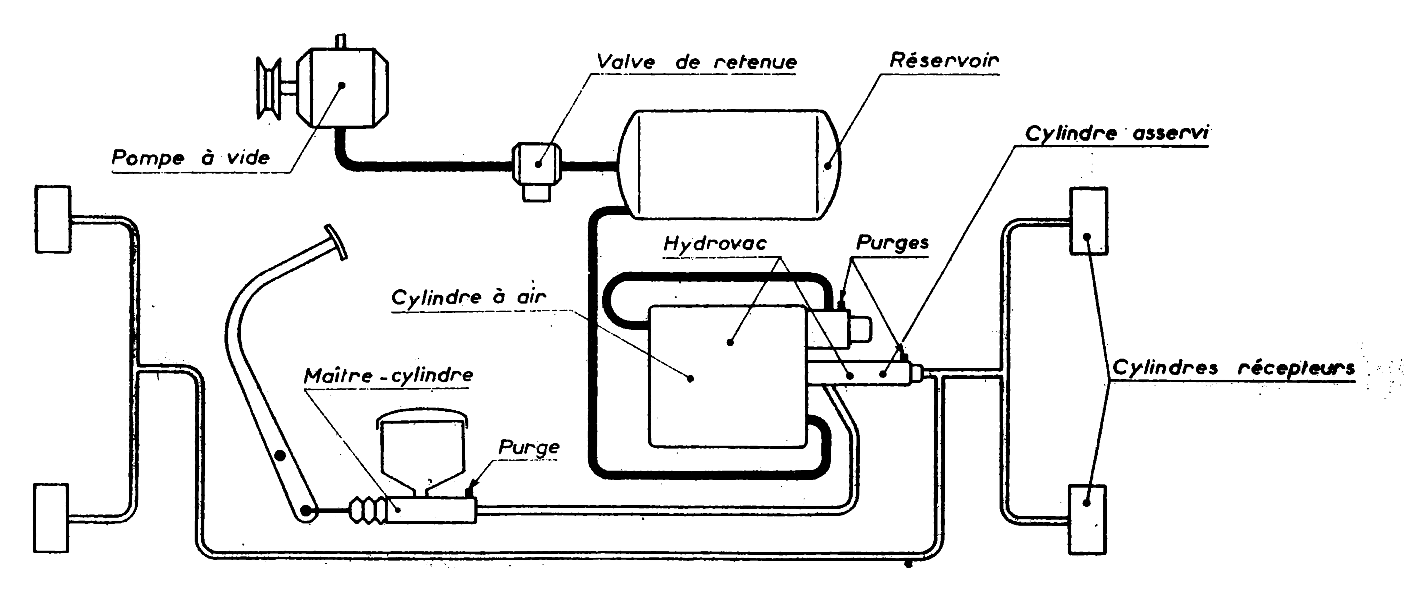


Fig. 1

LA POMPE À VIDE

La pompe à vide, entraînée par le moteur, crée dans un réservoir la dépression nécessaire au fonctionnement du système de freinage.

Cette pompe, généralement du type volumétrique à palettes *(fig. 2 au verso),* est constituée par un corps de pompe dans lequel est usiné un logement cylindrique où prend place un ensemble arbre-palettes.

L'arbre est excentré dans le logement cylindrique. Les palettes, placées dans des mortaises usinées dans l'arbre, sont appliquées contre le corps de pompe par des ressorts. La pompe comporte un clapet de régulation. Une valve de retenue est placée sur le circuit réservoir-pompe.

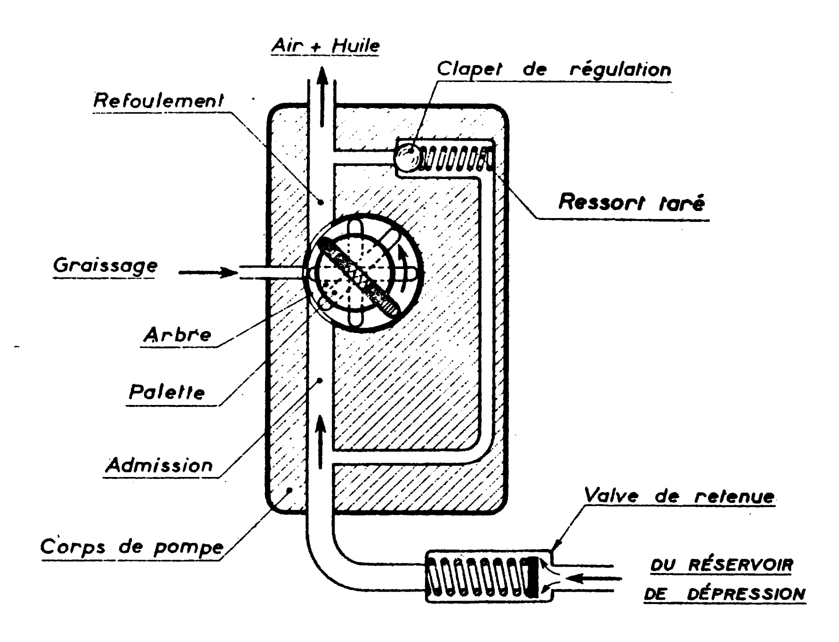


Fig. 2

Le fonctionnement

Lorsque la pompe est entraînée par le moteur, elle aspire l'air contenu dans le réservoir et dans le circuit de dépression, puis le refoule à l'air libre ou dans le carter du moteur.

Le clapet de régulation limite la dépression à 0,300 ou 0,400 kilogramme par centimètre carré.

La valve de retenue interdit l'entrée d'air dans le réservoir.

LA DESCRIPTION DE L'HYDROVAC

L'hydrovac *(fig. 3)* utilise la dépression créée dans le réservoir pour augmenter la pression du liquide dans le circuit de freinage. Il est constitué par un cylindre à air et un cylindre asservi.

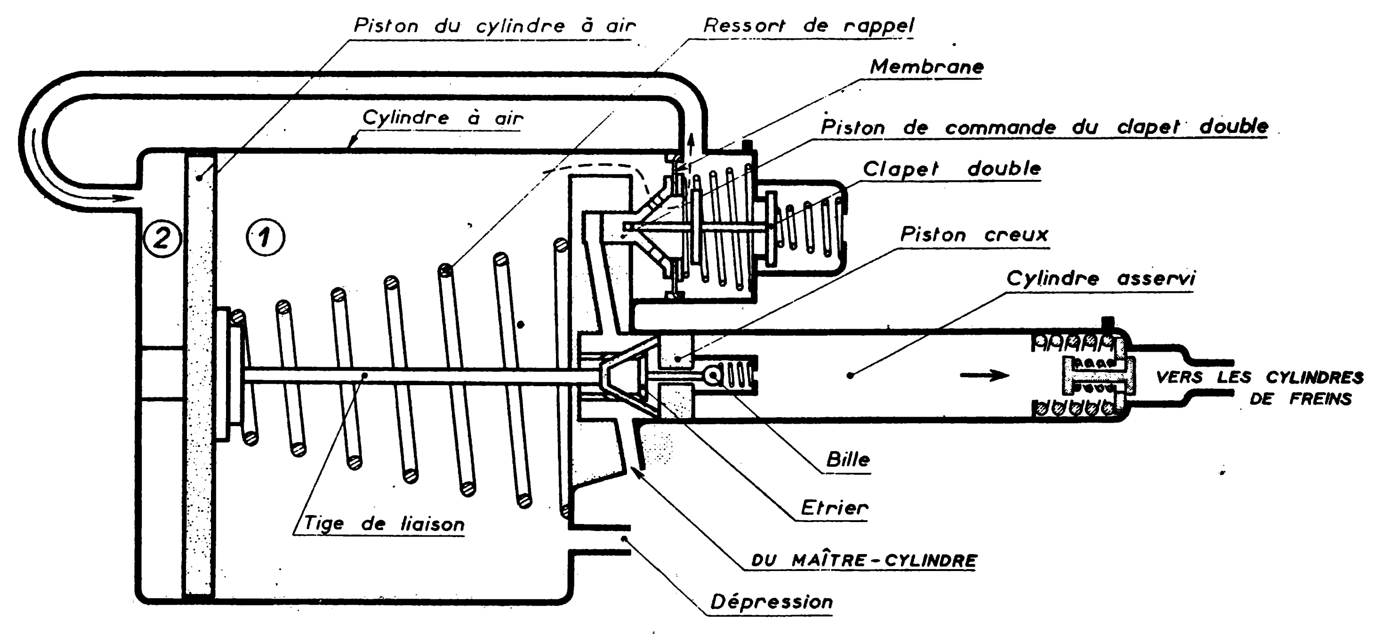


Fig. 3

— Le *cylindre à air* est divisé par un piston en *deux chambres* 1 et 2. Ces chambres sont séparées par une *membrane* reliée à un *piston* commandé par le liquide propulsé par le maître-cylindre. Un *clapet double* permet d'interrompre ou de rétablir la communication entre les deux chambres et par suite de modifier la pression dans ces chambres.

— Le *cylindre asservi* communique, d'une part avec le maître-cylindre, d'autre part avec les cylindres récepteurs placés sur les roues pour commander les mâchoires de freins.

Dans ce cylindre, se déplace un *piston* dont les mouvements sont jumelés avec ceux du piston du cylindre à air auquel il est relié par une tige de liaison *(fig. 4)*. En outre, ce piston est creux ; mais, selon la position qu'il occupe, il peut être rendu étanche par un *clapet à bille*.

La circulation du liquide hydraulique, du cylindre asservi vers les cylindres récepteurs, ou inversement, est contrôlée par *deux clapets* placés à l'extrémité du cylindre asservi.

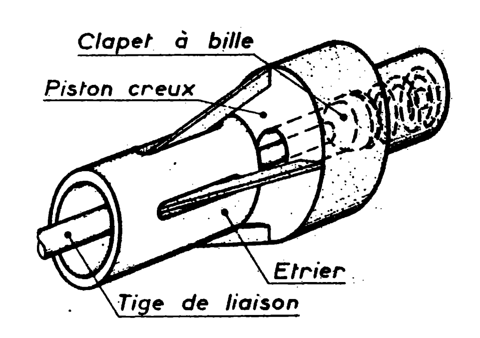


Fig. 4

LE FREINAGE

Dès que le conducteur appuie sur la pédale de frein, le maître-cylindre envoie du liquide dans le cylindre asservi et aussi sur le piston de commande de la membrane.

— Le liquide traverse le piston creux du cylindre asservi, car l'étrier empêche la bille de jouer son rôle *(fig. 5)*. Le clapet 3 s'ouvre. Il se produit un début de freinage.

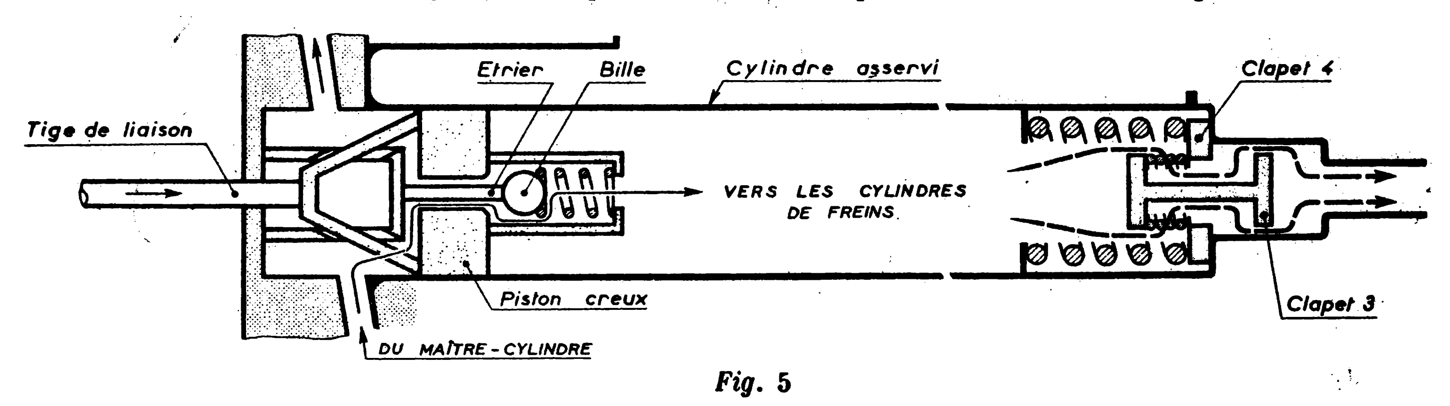


Fig. 5

— Le liquide arrive au piston de commande sur lequel il exerce une pression *(fig. 6)*. Le piston se déplace et vient appliquer la membrane sur le clapet 1 ; les chambres du cylindre à air ne communiquent plus.

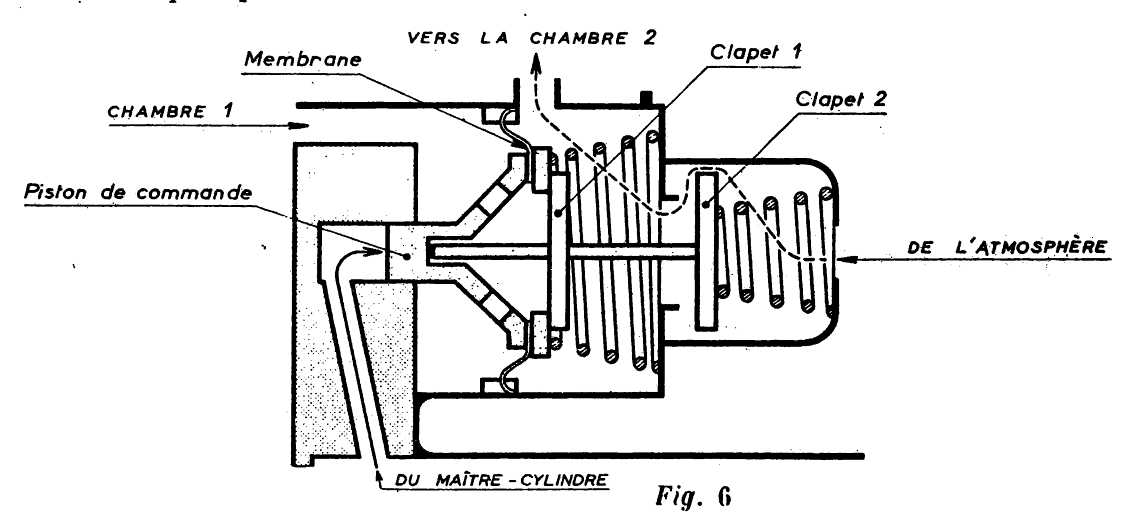


Fig. 6

En poursuivant son mouvement, le piston ouvre le clapet 2, la pression dans la chambre 2 devient égale à la pression atmosphérique, donc supérieure à la dépression de la chambre 1. Le piston du cylindre à air est donc soumis à deux pressions de valeurs inégales. La pression atmosphérique le fait se déplacer vers la droite.

— Le piston creux, solidaire du piston du cylindre à air par la tige de liaison, se déplace aussi vers la droite. La bille libérée par l'étrier, prend appui sur son siège. Le liquide contenu dans le cylindre asservi est soumis à l'action du dispositif d'assistance et conduit avec une pression accrue aux cylindres de roues, ce qui augmente la puissance de freinage *(fig. 7).*

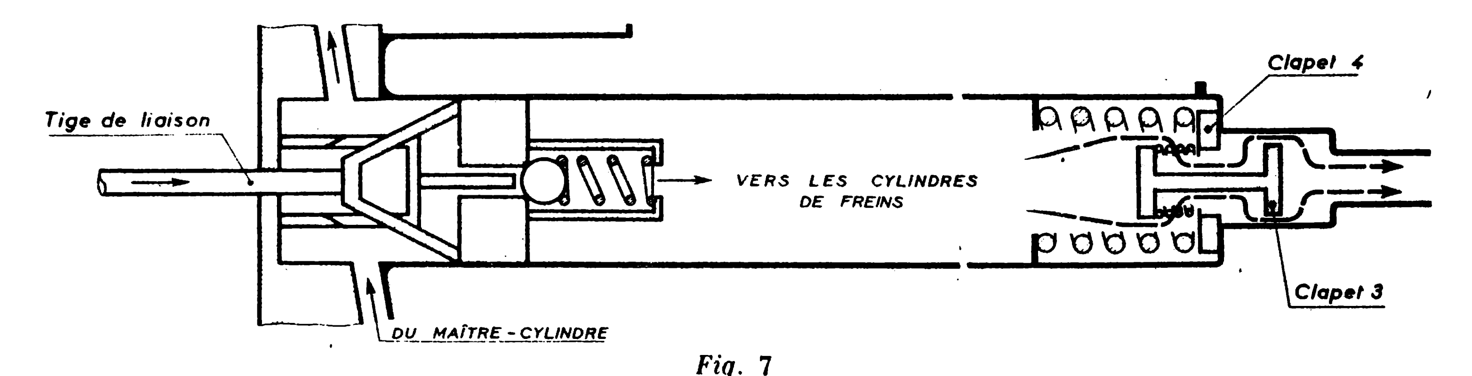


Fig. 7

LE DÉFREINAGE

Quand l'action sur la pédale cesse, le maître-cylindre n'est plus sollicité. Le liquide contenu entre le cylindre asservi et le maître-cylindre se détend, revient à une pression nulle, et n'exerce plus d'action sur le piston de commande de la membrane.

— La membrane et le clapet double sont ramenés en arrière par leurs ressorts. La communication entre l'atmosphère et la chambre 2 est interrompue, tandis que le passage est rétabli entre les chambres 1 et 2 dans lesquelles règne, à nouveau, la même dépression. Le piston du cylindre à air est repoussé vers la gauche par son ressort.

— Le piston du cylindre asservi revient également vers la gauche. La pression diminue. Le clapet 3 se ferme, le clapet 4 s'ouvre *(fig. 8).* L'étrier repousse la bille et le piston n'est plus étanche. Le liquide retourne au maître-cylindre. Le freinage cesse.

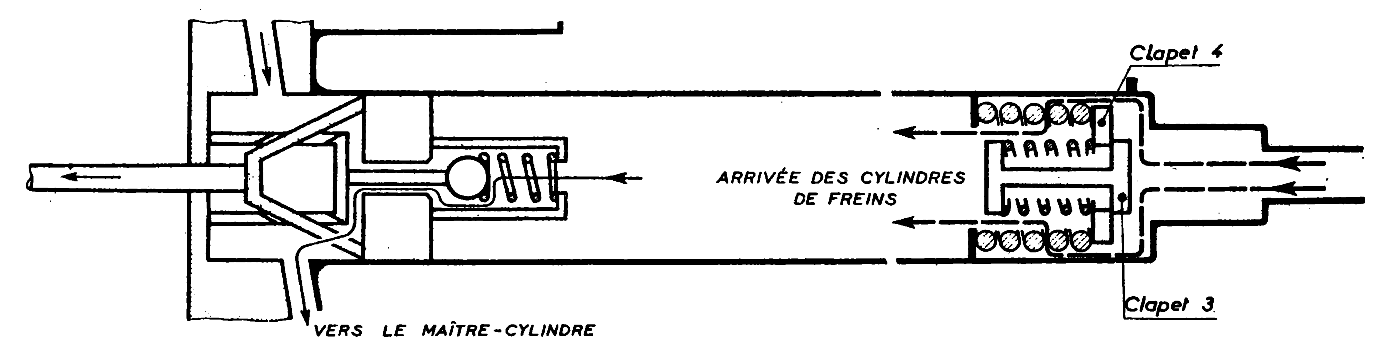


Fig. 8

Le clapet 4 est taré à environ 1,2 kilogramme par centimètre carré, ce qui maintient une pression résiduelle dans les canalisations, afin d'éviter les rentrées d'air dans le circuit.

<u>*Remarques :*</u>

1° Bien que l'effort sur la pédale de frein soit réduit au minimum, la réaction sur cette pédale est proportionnelle à la pression hydraulique dans les freins, ce qui permet de doser et de contrôler constamment la puissance de freinage.

2° En cas d'avarie sur le circuit de dépression *(prise d'air, fuite au clapet de retenue, panne de la pompe à vide),* on obtient encore un freinage en appuyant sur la pédale de frein ; mais l'assistance ne jouant plus son rôle, le freinage est beaucoup moins efficace.

3° Les cylindres récepteurs de roues sont munis de vis de purge.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE FREINAGE À COMMANDE HYDRAULIQUE (suite)

L'ASSISTANCE PAR AIR COMPRIMÉ : L'air-pack

L'assistance par air comprimé ressemble à l'assistance par dépression. Nous vous indiquerons donc seulement les différences.

L'INSTALLATION GÉNÉRALE

La source d'énergie utilisée pour le fonctionnement du système d'assistance est de l'air comprimé au lieu de la pression atmosphérique. Le dispositif comporte donc un compresseur *(fig. 1).*

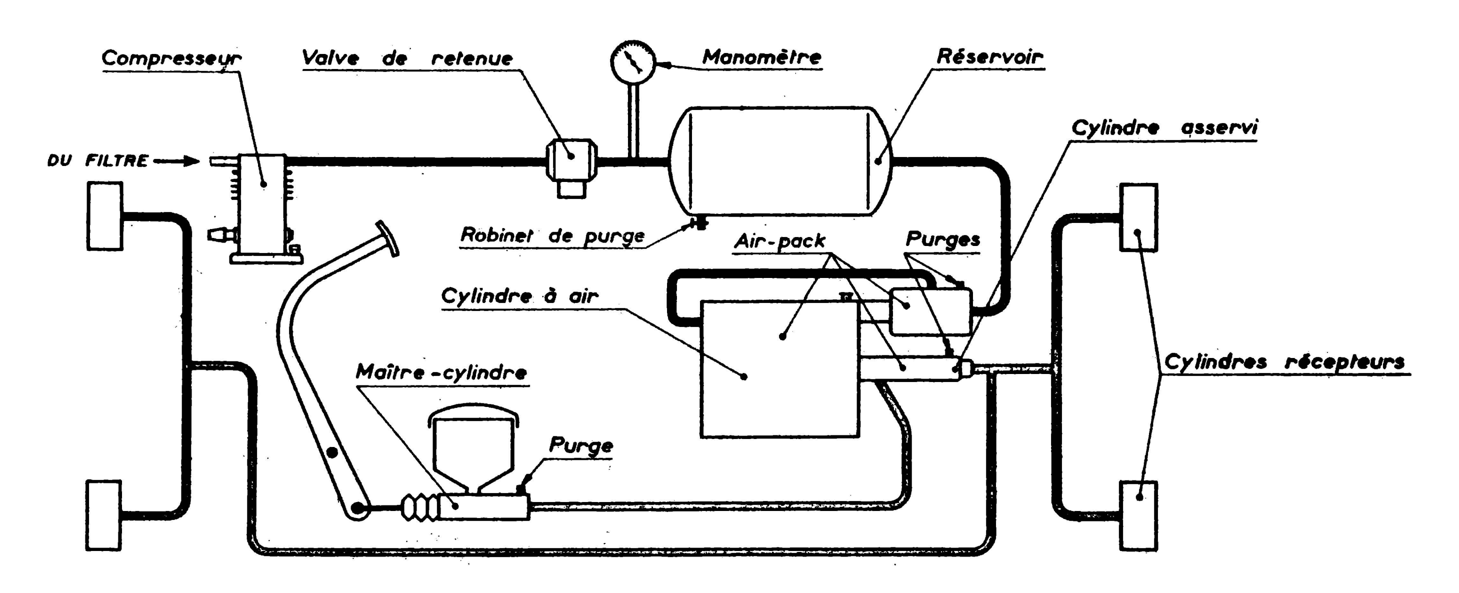


Fig. 1

LE COMPRESSEUR

Le compresseur *(fig. 2 au verso)* est constitué par un *cylindre* dans lequel se déplace un *piston* entraîné par un *système bielle-manivelle* relié au moteur. Le piston est muni de segments d'étanchéité.

A la partie supérieure du cylindre, une culasse rapportée, fixée par des boulons ou des goujons sur le bloc cylindre, comporte un *clapet d'aspiration* et un clapet de *refoulement.* Ces deux clapets sont appliqués sur leur siège par des ressorts.

Sur certains compresseurs, le graissage est assuré par une canalisation d'huile sous pression venant du moteur. Mais, la plupart des compresseurs sont lubrifiés par barbotage direct et projection sur le cylindre.

Dans la majorité des cas, le refroidissement par air est assuré par des ailettes qui entourent le cylindre et surtout la culasse. Quelquefois, le refroidissement est obtenu par circulation d'eau venant du radiateur du moteur ; il y a alors une chemise d'eau autour de la culasse et du cylindre.

Le fonctionnement

Les compresseurs sont à simple effet, c'est-à-dire qu'ils aspirent de l'air frais, à la pression atmosphérique, lorsque le piston descend du point mort haut au point mort bas ; puis ils le compriment et le refoulent, pendant que le piston remonte du point mort bas au point mort haut.

— La *descente du piston* crée une *dépression* à l'intérieur du cylindre. Le clapet d'aspiration s'ouvre en comprimant son ressort. L'air frais est aspiré après passage dans un filtre. Le clapet de refoulement reste appliqué sur son siège *(fig. 2a)*.

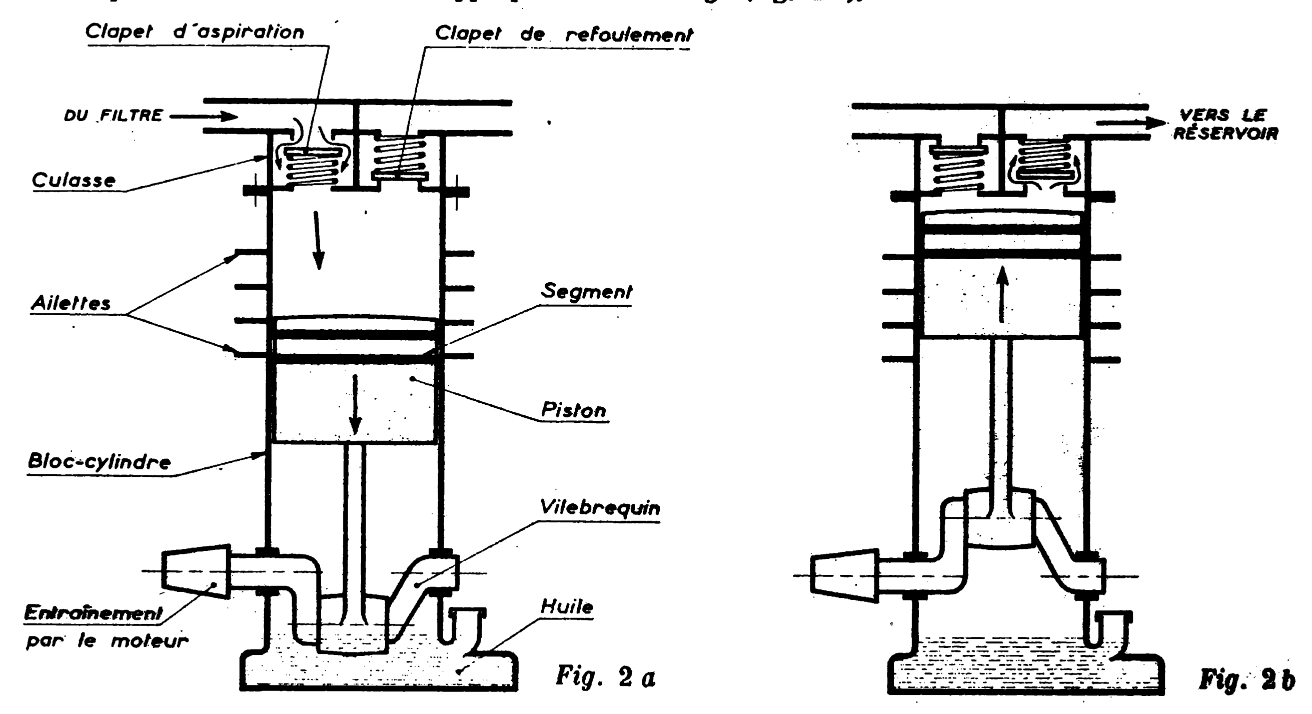


Fig. 2 a   *Fig. 2 b*

— La *montée du piston* crée une *surpression*. Le clapet d'aspiration se ferme, tandis que le clapet de refoulement s'ouvre. L'air est refoulé sous pression vers le réservoir *(fig. 2b)*. Un système de régulation automatique limite la pression maximum à ne pas dépasser.

Remarques :

1° Pour certains compresseurs, l'aspiration se fait directement dans la pipe d'admission du moteur, ce qui évite de monter un filtre sur l'aspiration du compresseur, l'air passant dans la pipe d'admission étant déjà filtré très soigneusement.

2° Il existe différents types de compresseurs. Dans le devoir, nous vous présenterons le *compresseur intégré au moteur* qui est fixé dans un logement ménagé dans la plaque avant du moteur. L'entraînement est assuré par une bielle et un excentrique fixé directement en bout de l'arbre à cames.

Certains véhicules nécessitant un fort débit d'air comprimé, sont équipés de *compresseurs à deux cylindres.*

3° La puissance absorbée par le compresseur dépend de son débit. Elle varie de 1 cheval-vapeur, pour un débit de 54 litres par minute, à 4 chevaux-vapeur, pour un débit de 380 litres par minute.

4° Selon les compresseurs, la vitesse de rotation maximum varie de 1 000 à 2 500 tours par minute.

LE SYSTEME AIR-PACK

Dans ses grandes lignes, l'ensemble air-pack *(fig. 3)* ressemble à l'hydrovac. Notez seulement les différences.

La chambre 1 est toujours en communication avec l'atmosphère.

La chambre 2 peut être mise en communication soit :

— avec l'atmosphère, par le clapet 1 *(au repos),*
— avec le réservoir d'air comprimé, par le clapet 2 *(en fonctionnement).*

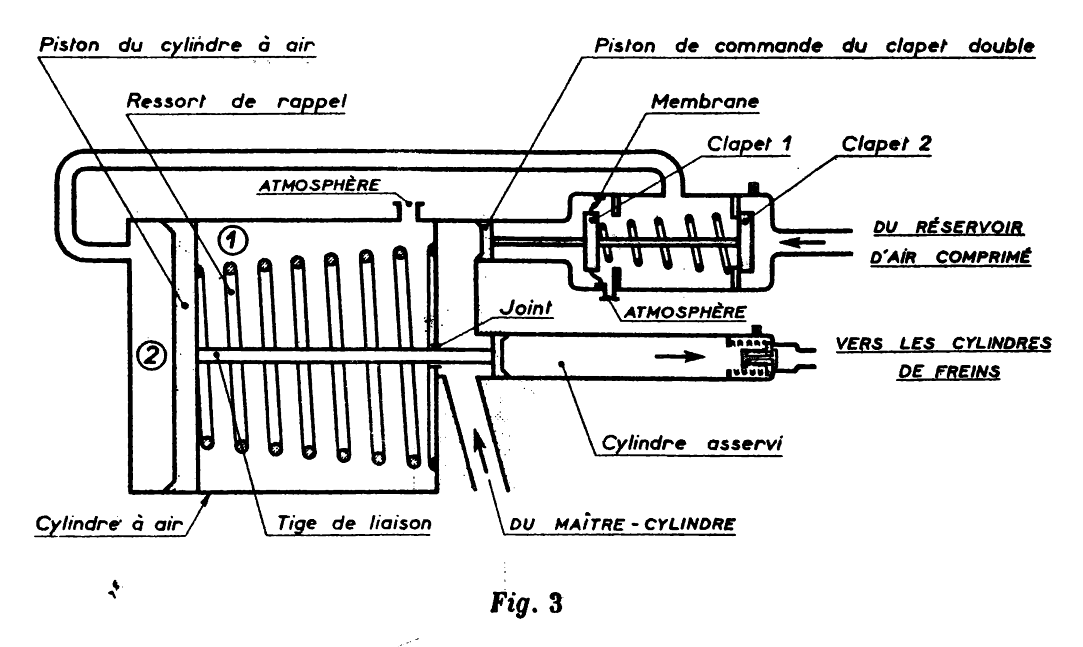


Fig. 3

LA PURGE D'UN CIRCUIT HYDRAULIQUE ASSISTÉ

Comme un circuit hydraulique ordinaire, le circuit hydraulique assisté doit être purgé.

Après avoir purgé le réservoir, on ouvre successivement les purgeurs situés :

— sur le maître-cylindre,
— sur la partie supérieure de l'hydrovac ou du système air-pack,
— sur le cylindre asservi,
— sur les cylindres de roues.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE FREINAGE À COMMANDE PNEUMATIQUE

Sur certains véhicules industriels, l'assistance de freinage est réalisée en utilisant l'air comprimé comme source d'énergie. L'installation d'une assistance de freinage par air comprimé se compose de deux circuits :

— un *circuit d'alimentation* qui permet d'emmagasiner de l'air comprimé.
— un *circuit d'utilisation* qui permet la commande des segments de freins.

La constitution des appareils composant ces circuits diffère selon le type et le tonnage du véhicule :

— Porteur de moins de 16 tonnes.
— Porteur de plus de 16 tonnes.
— Porteur-tracteur de moins de 16 tonnes.
— Porteur-tracteur de plus de 16 tonnes.
— Tracteur.
— Transport en commun de moins de 8 tonnes.
— Transport en commun de plus de 8 tonnes.

Nous n'étudierons que deux des cas énumérés ci-dessus : celui d'un véhicule *porteur* de moins de 16 tonnes et celui d'un véhicule *porteur-tracteur* de moins de 16 tonnes.

LE VÉHICULE PORTEUR DE MOINS DE 16 TONNES

L'INSTALLATION GÉNÉRALE

La *figure* 1 présente l'installation générale des circuits de freinage *(alimentation et utilisation)* d'un véhicule porteur de moins de 16 tonnes.

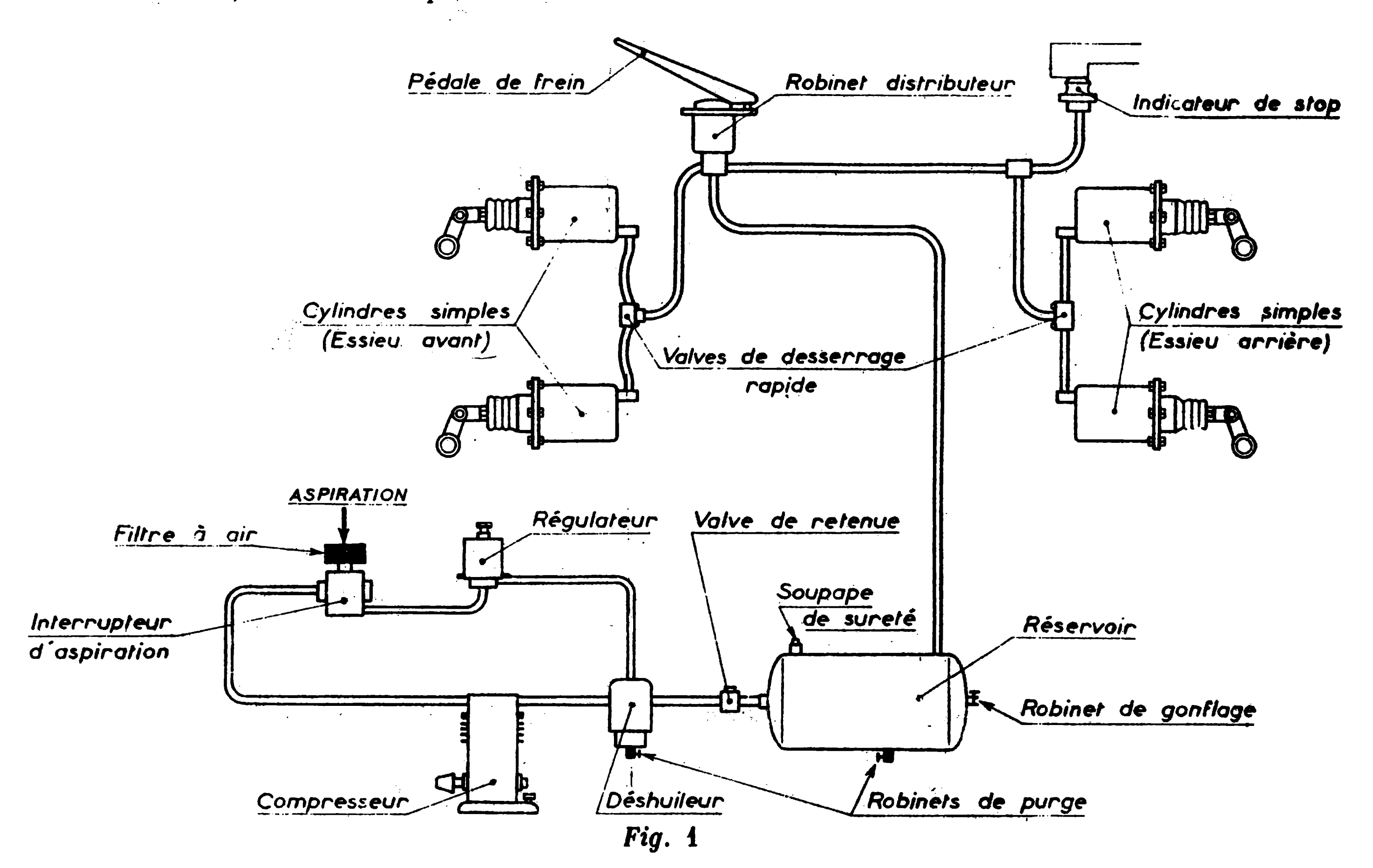


Fig. 1

LE CIRCUIT D'ALIMENTATION

Le circuit d'alimentation représenté ci-dessous *(fig. 2)* comporte les éléments suivants :

— Le *compresseur à piston,* entraîné par le moteur, crée la pression nécessaire au fonctionnement. L'admission de l'air, après passage dans un filtre, et le refoulement se font par des clapets libres.

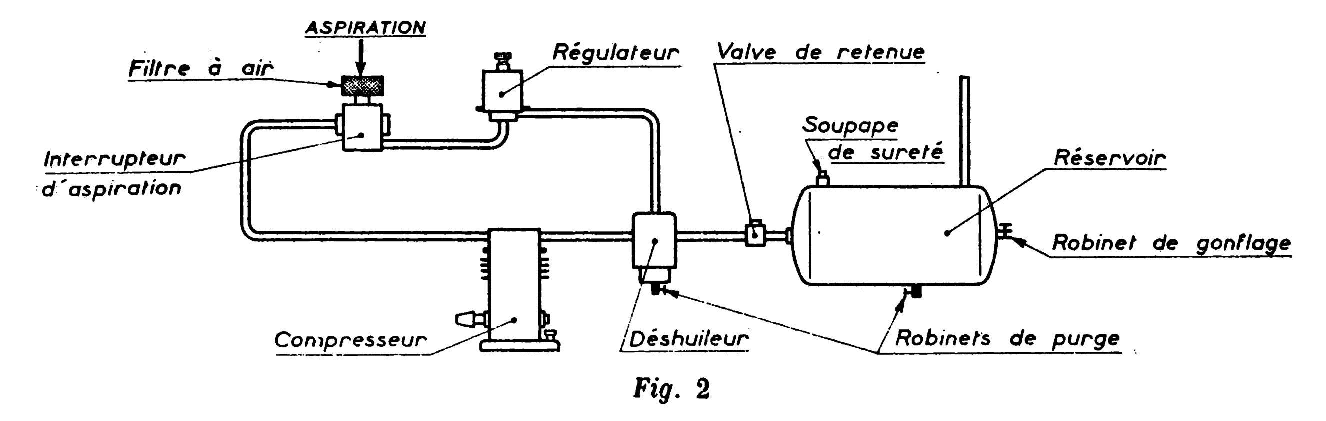


Fig. 2

— Le *réservoir* emmagasine l'air comprimé. Il est équipé d'une *soupape de sûreté,* clapet taré qui s'ouvre lorsque l'air comprimé atteint la pression limite *(8 kg/cm² environ).* Ainsi, toute surpression dans le réservoir est impossible. Un *robinet de purge* permet la vidange quotidienne des eaux de condensation. Souvent, le réservoir comporte un *robinet de gonflage.*

— La *valve de retenue* montée à l'entrée du réservoir interdit le retour de l'air comprimé vers le compresseur.

— Le *déshuileur,* constitué par des chicanes en tôle, débarrasse l'air comprimé des impuretés qu'il contient. Il doit être vidangé tous les jours.

— Le *système de régulation* interrompt automatiquement l'aspiration d'air, lorsque la pression maximum est atteinte, bien que le compresseur soit toujours entraîné par le moteur. Ce dispositif de régulation peut être placé sur l'aspiration *(cas de la figure 2)* ou sur le refoulement. Il comporte toujours le régulateur proprement dit qui commande l'interrupteur d'aspiration.

Le fonctionnement de la valve de retenue

Le fonctionnement de la valve de retenue est illustré par les *figures 3a et 3b.*

— *Lorsque le compresseur débite,* l'air sous pression soulève le clapet et pénètre dans le réservoir *(fig. 3a).*

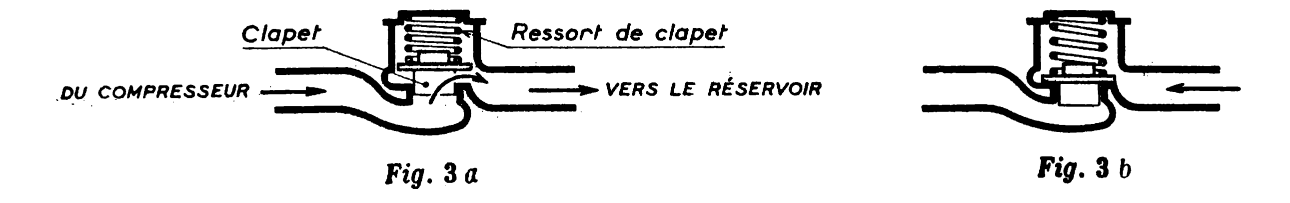


Fig. 3 a *Fig. 3 b*

— *Lorsque le compresseur ne débite plus,* le clapet se referme sous l'action du ressort. L'air comprimé ne peut pas retourner vers le compresseur *(fig. 3b).*

— *Si la pression chute dans le réservoir,* par suite de la consommation d'air par les divers appareils *(freins, direction, etc...),* le clapet est repoussé par la pression d'air fournie par le compresseur qui se remet en route. Le compresseur peut alors refouler à nouveau de l'air dans le réservoir.

Le fonctionnement du régulateur

Le régulateur *(fig. 4)* est placé en dérivation sur la canalisation de refoulement du compresseur. Il se comporte comme une soupape tarée pour une pression limite d'environ 8 kg/cm².

— Lorsque la pression de l'air comprimé dans le réservoir est *inférieure à la pression limite,* le ressort de tarage maintient la soupape sur son siège *(fig. 4 a).* L'air comprimé ne passe pas.

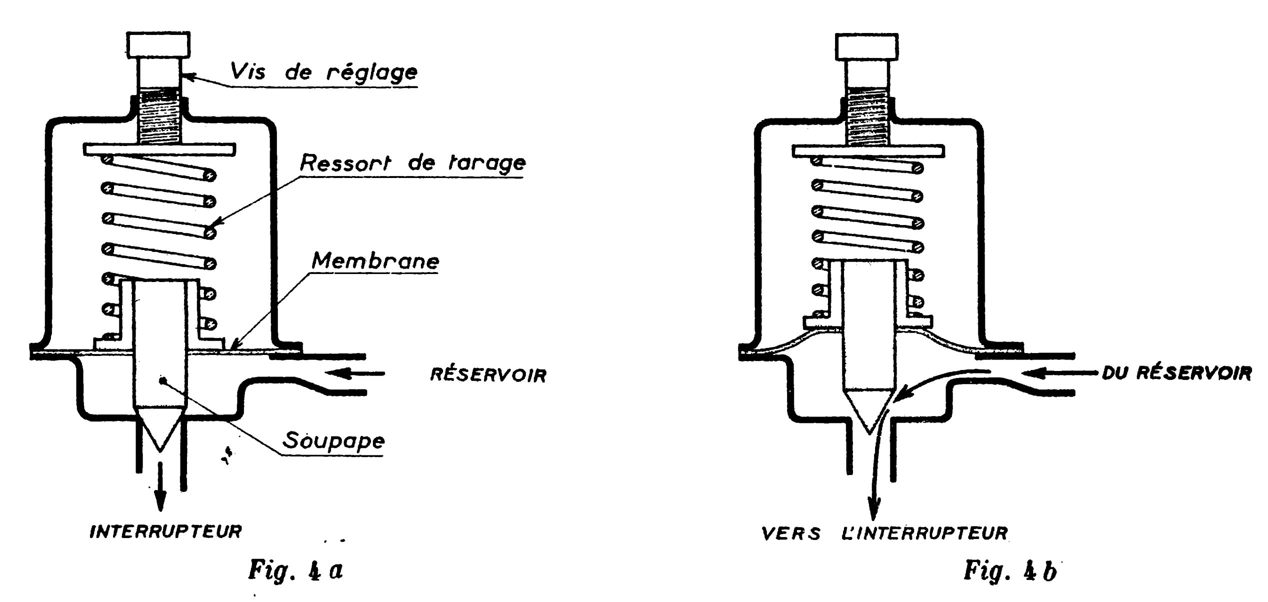


Fig. 4 a *Fig. 4 b*

— Lorsque la pression devient *supérieure à la pression limite,* l'air repousse la membrane en combattant l'action du ressort taré. La soupape se soulève ouvrant le passage vers l'interrupteur *(fig. 4 b).*

— Si, après arrêt du compresseur, la pression dans le réservoir retombe *au-dessous de la pression limite,* la soupape vient de nouveau interrompre le passage de l'air, sous l'action du ressort *(fig. 4 a).*

Le fonctionnement de l'interrupteur d'aspiration

L'interrupteur d'aspiration *(fig. 5)* est placé entre le régulateur et le compresseur. C'est un clapet à piston qui peut ou non obturer l'arrivée d'air au compresseur.

— Lorsque la pression de l'air comprimé dans le réservoir est *inférieure à la pression limite,* la soupape du régulateur reste fermée et, par suite, l'air comprimé n'arrive pas à l'interrupteur. Le piston reste dans sa position de repos *(fig. 5a).* Les orifices d'arrivée d'air ne sont pas obturés et le compresseur est alimenté en air frais.

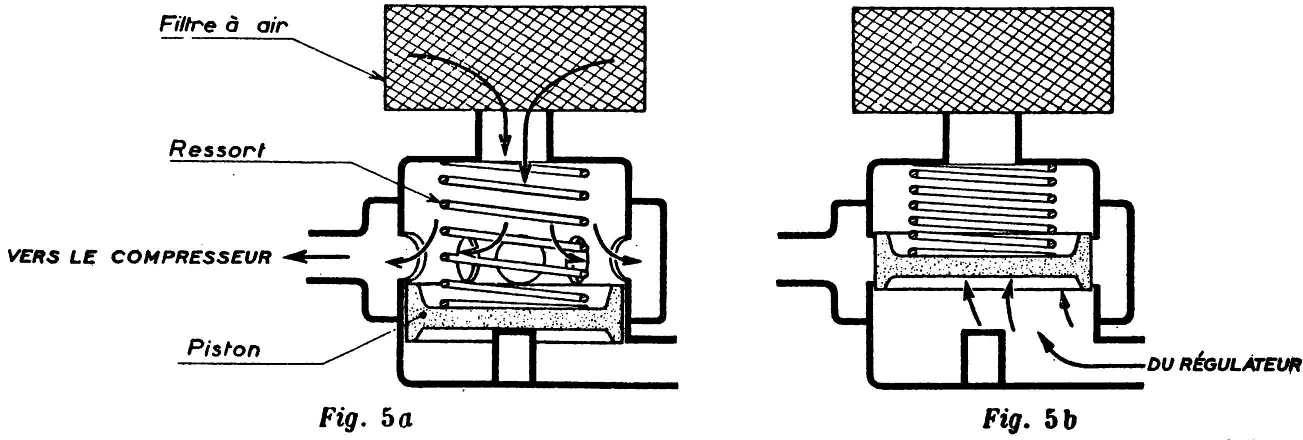


Fig. 5a *Fig. 5b*

— Lorsque la pression devient *supérieure à la pression limite,* la soupape du régulateur s'ouvre et l'air comprimé parvient à l'interrupteur. Il pousse le piston qui ferme les orifices d'arrivée d'air *(fig. 5b).* Le compresseur n'est plus alimenté en air frais. Il y a donc interruption automatique du travail de compression, sans arrêt du compresseur.

— Si la pression retombe *au-dessous de la pression limite,* le régulateur interrompt l'alimentation de l'interrupteur. Le piston repoussé par son ressort, découvre à nouveau les orifices d'entrée d'air *(fig. 5a).* Notez que l'air comprimé, contenu entre le régulateur et l'interrupteur, s'échappe par le piston qui n'est pas parfaitement étanche.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE FREINAGE À COMMANDE PNEUMATIQUE (suite)

LE VÉHICULE PORTEUR DE MOINS DE 16 TONNES (suite)

LE CIRCUIT D'UTILISATION

La *figure* 1 présente le circuit d'utilisation d'un véhicule porteur de moins de 16 tonnes.

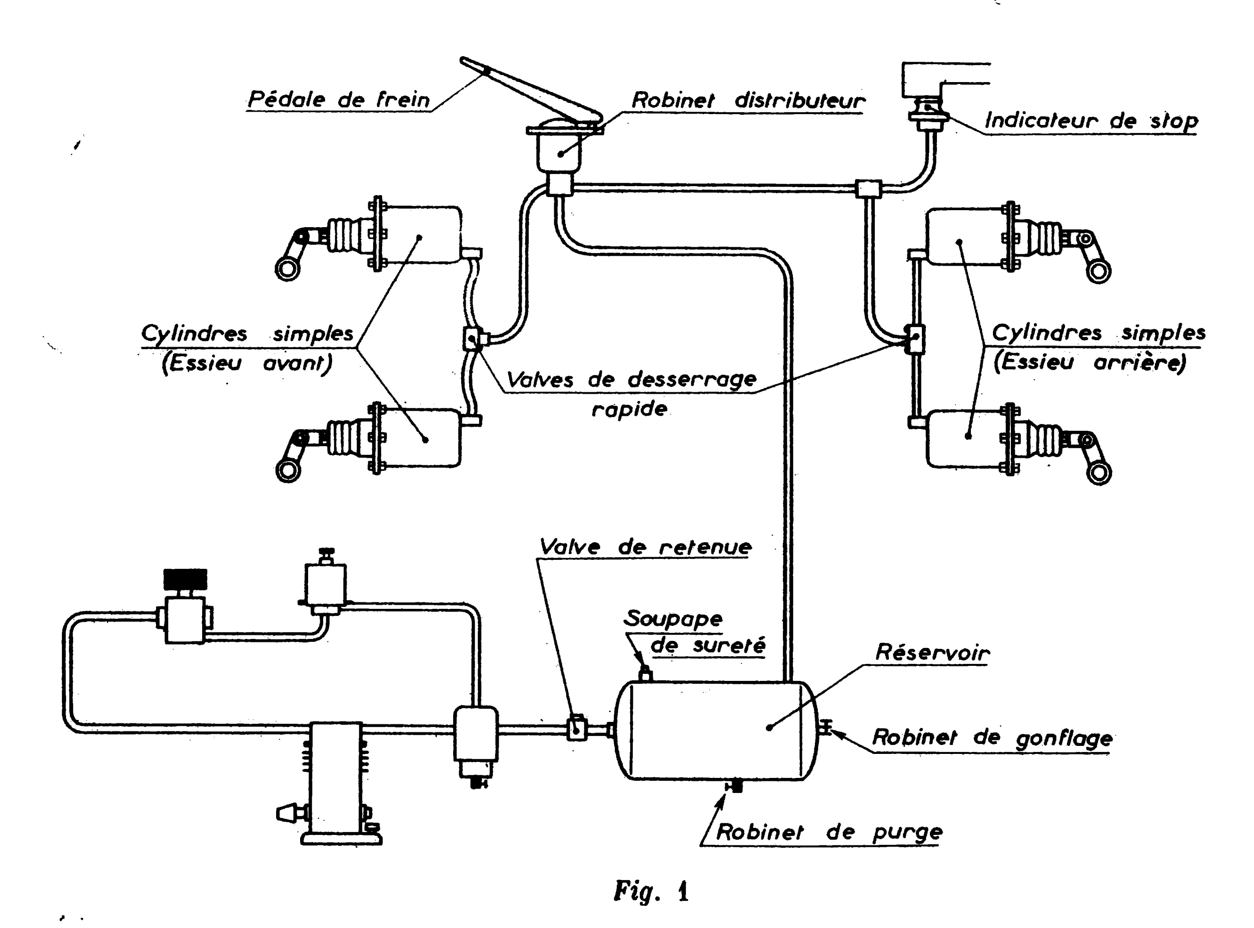


Fig. 1

Outre le réservoir, ce circuit d'utilisation comprend le robinet distributeur, les cylindres de roues, les valves de desserrage rapide.

LE ROBINET DISTRIBUTEUR SIMPLE

Le robinet distributeur simple ou robinet de commande est alimenté par le réservoir d'air comprimé. Il est commandé par la pédale de frein et envoie l'air comprimé aux cylindres de roues, au moment du freinage.

La conception du robinet distributeur permet de doser la quantité d'air admise aux cylindres de roues, en fonction de l'intensité de freinage que l'on veut obtenir.

Le fonctionnement

— *Au repos,* la pédale est repoussée par le ressort de commande et le ressort du piston creux. Dans cette position, les canalisations des freins communiquent avec l'atmosphère par la partie creuse du piston *(fig. 2).*

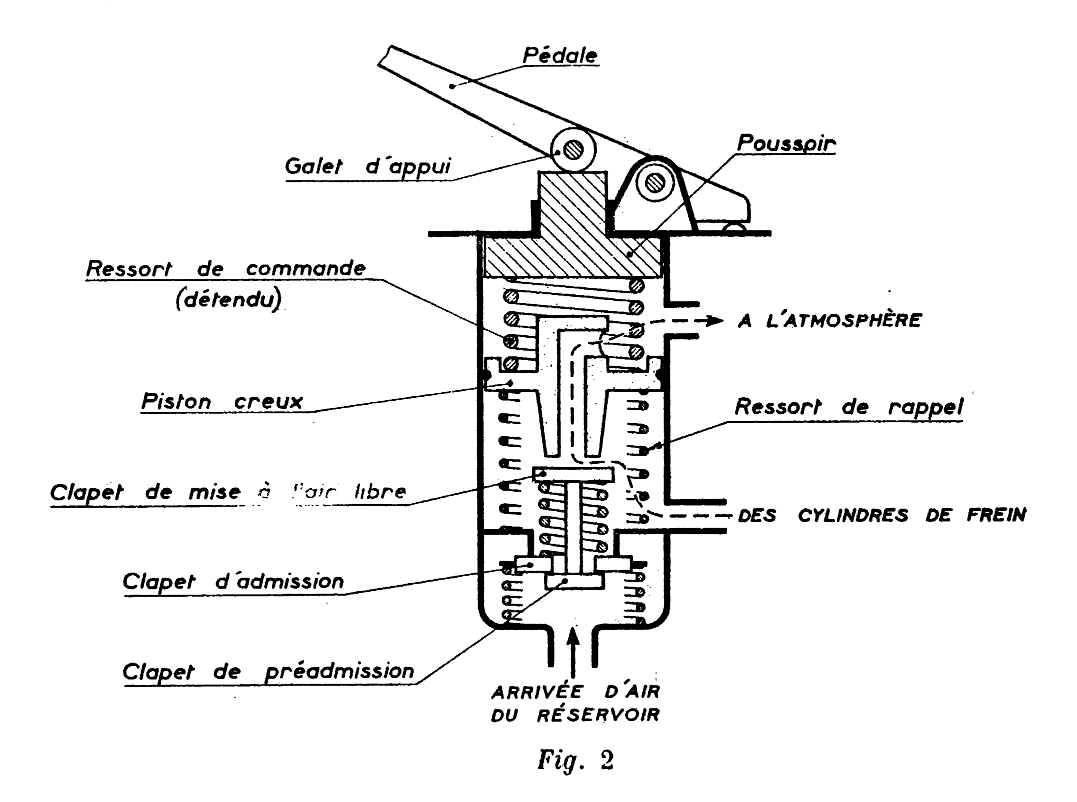


Fig. 2

— *En appuyant sur la pédale de frein,* le conducteur agit, par l'intermédiaire du poussoir, sur le ressort de commande qui oblige le piston creux à venir prendre appui sur le clapet de mise à l'air libre. A ce moment la communication des canalisations avec l'atmosphère est interrompue.

— *En accentuant l'action sur la pédale,* le piston oblige le clapet de préadmission, puis le clapet d'admission à s'ouvrir *(fig. 3).*

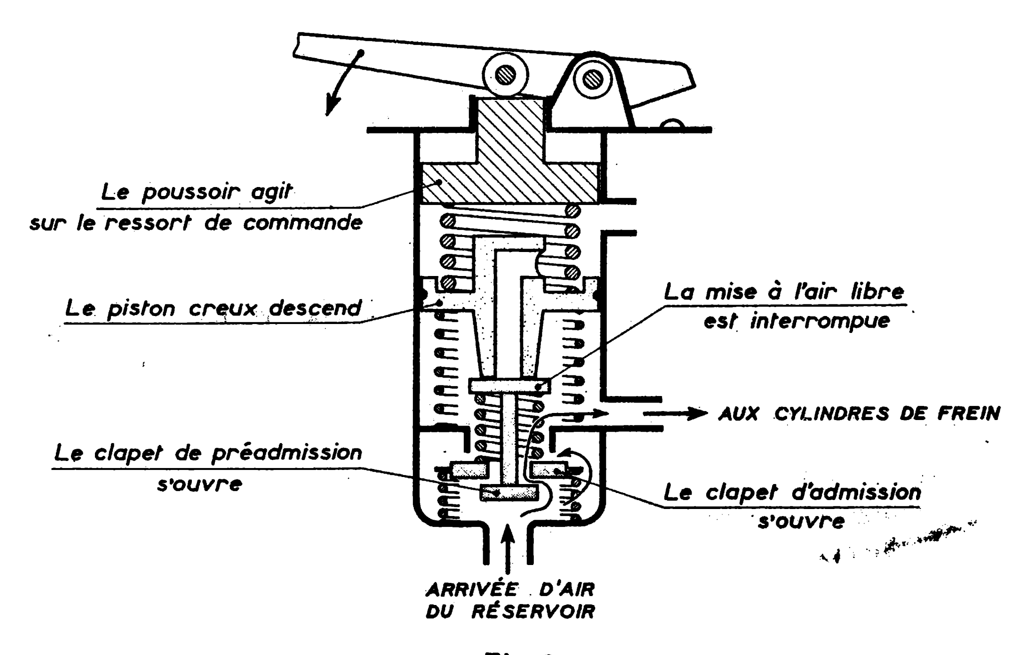


Fig. 3

— *Si l'action sur la pédale se relâche légèrement,* le piston est repoussé par l'air comprimé. Les clapets d'admission et de préadmission se referment, ce qui limite la pression admise aux cylindres de frein. Il se produit un équilibre entre l'action de l'air comprimé et l'action du ressort de commande. Cette position d'équilibre peut être obtenue à toutes les pressions, jusqu'à la pression maximum *(8 kg/cm²).*

— *Si l'action sur la pédale cesse complètement,* les clapets et le piston creux sont ramenés à leur position de repos. La communication des canalisations avec l'atmosphère est rétablie *(fig. 2).* Le freinage cesse.

— *En agissant brutalement sur la pédale* alors que le distributeur est au repos, le poussoir vient buter sur le piston qui provoque l'ouverture maximum des clapets de préadmission et d'admission. On obtient ainsi une admission de la pression maximum aux cylindres et un freinage d'urgence.

LE CYLINDRE SIMPLE

Le cylindre simple est monté sur les roues avant et sur les roues arrière, quand le frein de secours est confondu avec le frein de parcage. Il se compose *(fig. 4) :*

— d'un *cylindre* relié au robinet de commande ;
— d'un *piston* qui se déplace dans le cylindre, sous l'action de l'air comprimé et est ramené par un ressort de rappel au moment où l'air comprimé s'échappe ;
— d'une *bielle de poussée* qui transmet, par des leviers, le mouvement du piston à la came d'écartement des segments.

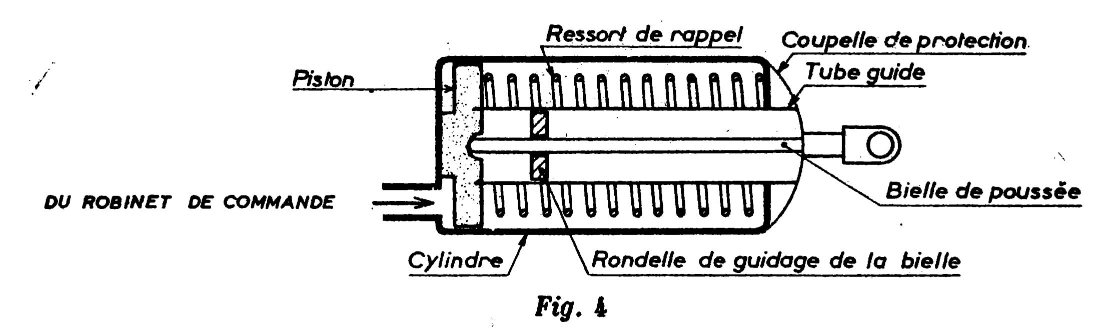


Fig. 4

La multiplication du couple d'écartement est due, à la fois, à la surface du piston et au rapport des bras de leviers : longueur de la came, longueur du levier d'entraînement.

<u>Remarque</u> :

Les constructeurs français de matériel de freinage expriment quelquefois le diamètre des cylindres de frein, en pouces *(1 pouce = 25, 4 mm).* Cette désignation est aussi très souvent utilisée pour les différents matériels de freinage : bouchons, raccords filetés, maître-cylindres hydrauliques, garnitures, coupelles, etc...

LA VALVE DE DESSERRAGE RAPIDE

Pour accélérer l'évacuation de l'air et le retour au repos des segments de frein , on place sur les canalisations d'alimentation, des valves de desserrage rapide qui comportent quatre orifices *(fig. 5).*

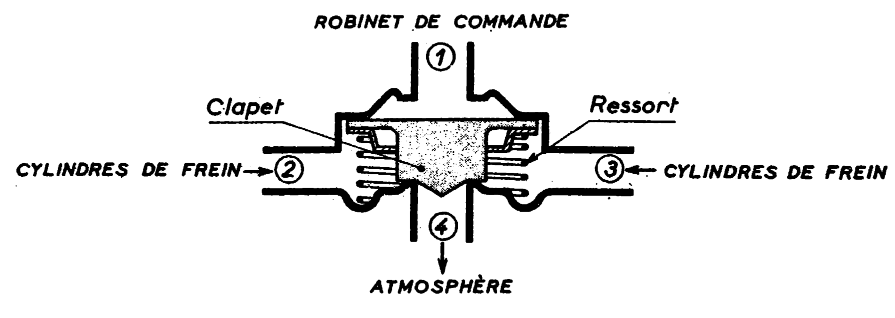


Fig. 5

— L'orifice 1 est réuni au robinet de commande.

— Les orifices 2 et 3 sont reliés aux cylindres de frein.

— L'orifice 4 communique avec l'atmosphère et permet l'échappement de l'air comprimé.

Le fonctionnement

— *Au repos,* le clapet, repoussé par un ressort, obture l'orifice 1 relié au robinet de commande *(fig. 5).*

— *Au moment du freinage,* l'air comprimé, venant du robinet, exerce une pression sur le clapet qui se déforme. L'air peut alors se diriger vers les cylindres de frein, par les orifices 2 et 3 *(fig. 6),* tout en confirmant la fermeture de l'orifice 4.

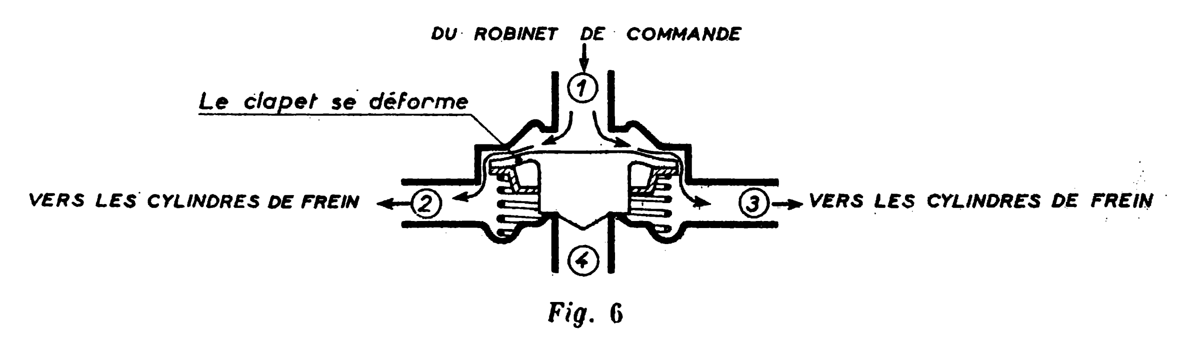


Fig. 6

— *Au moment du défreinage,* l'air se trouvant entre le robinet et la valve de desserrage rapide s'échappe par la mise à l'air libre du robinet. Le ressort ramène le clapet à la position initiale. Puis la pression existant sous le clapet étant supérieure à celle existant au-dessus, ce clapet est soulevé et ouvre l'orifice 4 de mise à l'atmosphère. L'air se trouvant dans les cylindres peut alors s'échapper *(fig. 7).*

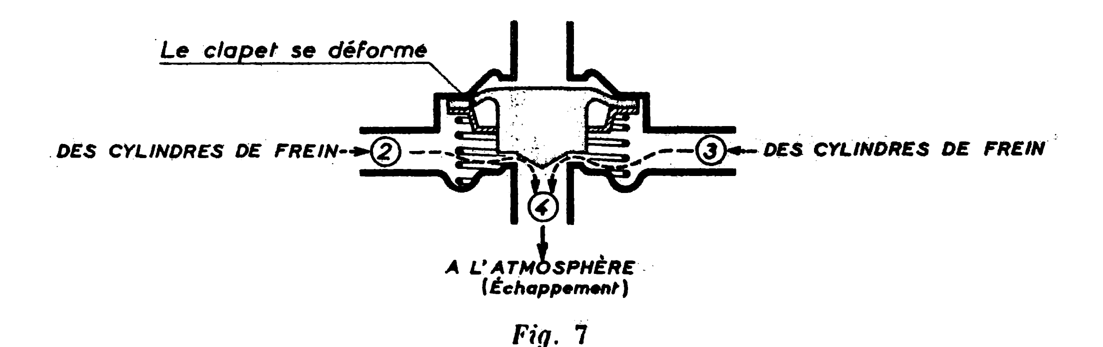


Fig. 7

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE FREINAGE À COMMANDE PNEUMATIQUE (suite)

LE VÉHICULE PORTEUR - TRACTEUR DE MOINS DE 16 TONNES

L'INSTALLATION GÉNÉRALE

La *figure* 1 présente l'installation générale des circuits de freinage ***(circuit d'alimentation et circuits d'utilisation)*** d'un véhicule porteur-tracteur de moins de 16 tonnes ***(partie tracteur seulement).***

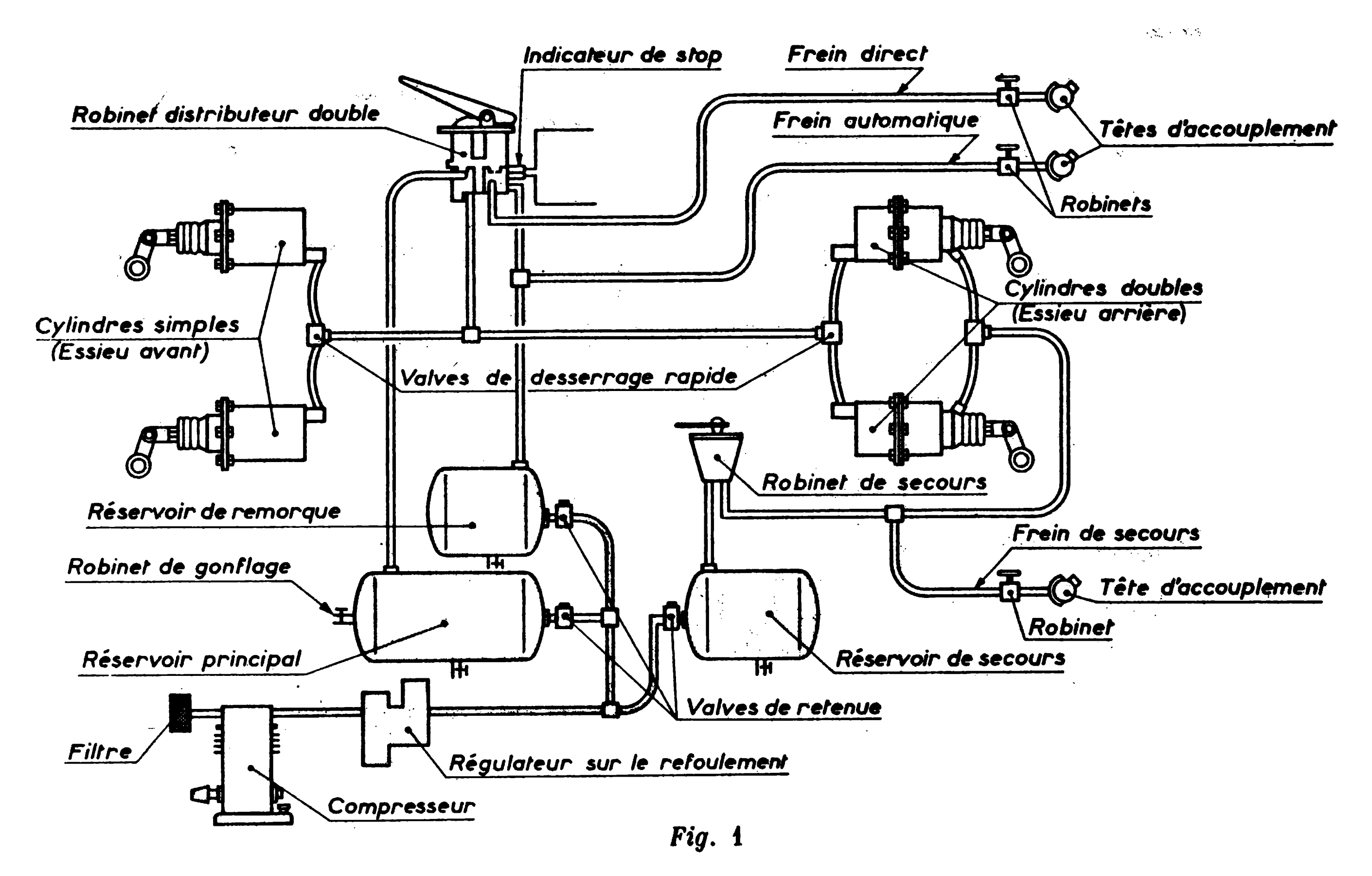


Fig. 1

— Le *compresseur* aspire l'air à travers un filtre et le refoule vers les différents réservoirs.

— Le ***réservoir principal*** alimente le circuit de freinage du tracteur : roues avant et arrière.

— Le ***réservoir de secours*** approvisionne le circuit de secours qui, en cas de nécessité, peut agir à la fois sur les roues arrière du tracteur et sur les roues de la remorque.

— Le ***réservoir de remorque*** est relié au circuit de freinage de la remorque qui comporte le frein direct commandé par le robinet double et le circuit automatique qui alimente le réservoir auxiliaire placé sur la remorque.

LE CIRCUIT D'ALIMENTATION

La régulation de l'alimentation est placée sur le refoulement. Elle est assurée par un appareil unique placé entre le compresseur et les réservoirs. Dans cet appareil, se trouvent réunis le régulateur de pression, le clapet de retenue, la soupape de sûreté et le déshuileur-épurateur.

La charge des réservoirs

La *figure* 2 montre que l'air, en provenance du compresseur, se dirige :

— vers les réservoirs, en soulevant le clapet de retenue, après passage à travers le déshuileur-épurateur et le filtre ;
— vers la membrane du régulateur, en passant par le canal A, puis sous le clapet inférieur (2) par le canal B ;
— vers la membrane de la soupape de sûreté, en passant par le canal D ;
— sous le piston de mise à l'atmosphère, en traversant la rondelle de feutre, ce qui renforce l'action du ressort qui maintient le clapet de mise à l'atmosphère (3) sur son siège.

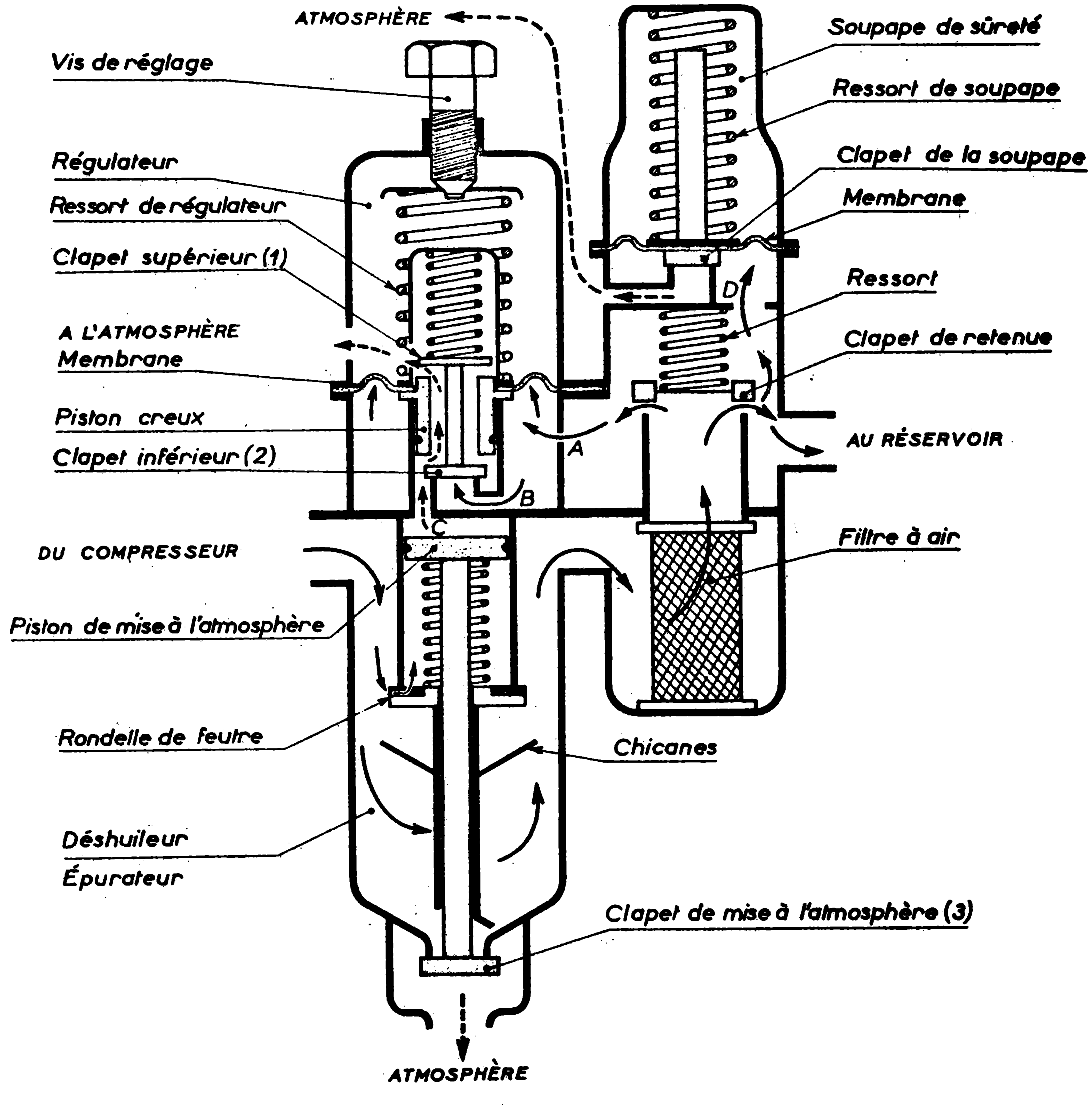


Fig. 2

Le début de la régulation

Si la pression de l'air comprimé atteint une valeur suffisante *(7,3 kg/cm² environ)* la membrane du régulateur est poussée vers le haut et entraîne avec elle le piston sur lequel elle est fixée *(fig. 3)*. Ce piston est creux et peut être rendu étanche par un clapet double *(1 et 2)*.

— Au début de la montée de la membrane, l'ouverture supérieure du piston creux est obturée par le clapet supérieur (1), ce qui a pour effet de fermer la mise à l'atmosphère.

— Puis ensuite, le piston creux soulève le clapet inférieur (2) qui laisse alors passer l'air par les canaux B et C, en direction du piston de mise à l'atmosphère. Sous l'action de la pression, ce piston est poussé vers le bas et ouvre le clapet de mise à l'atmosphère (3). Le compresseur refoule alors de l'air sans pression. Cet air, en s'échappant, entraîne avec lui les impuretés contenues dans l'épurateur.

— Au moment où le clapet de mise à l'atmosphère (3) s'ouvre, le clapet de retenue du régulateur se ferme, ainsi que les autres clapets placés à l'entrée des réservoirs. Ces clapets étant fermés, l'air sous pression reste emmagasiné entre la membrane de la soupape de sûreté et les clapets des réservoirs.

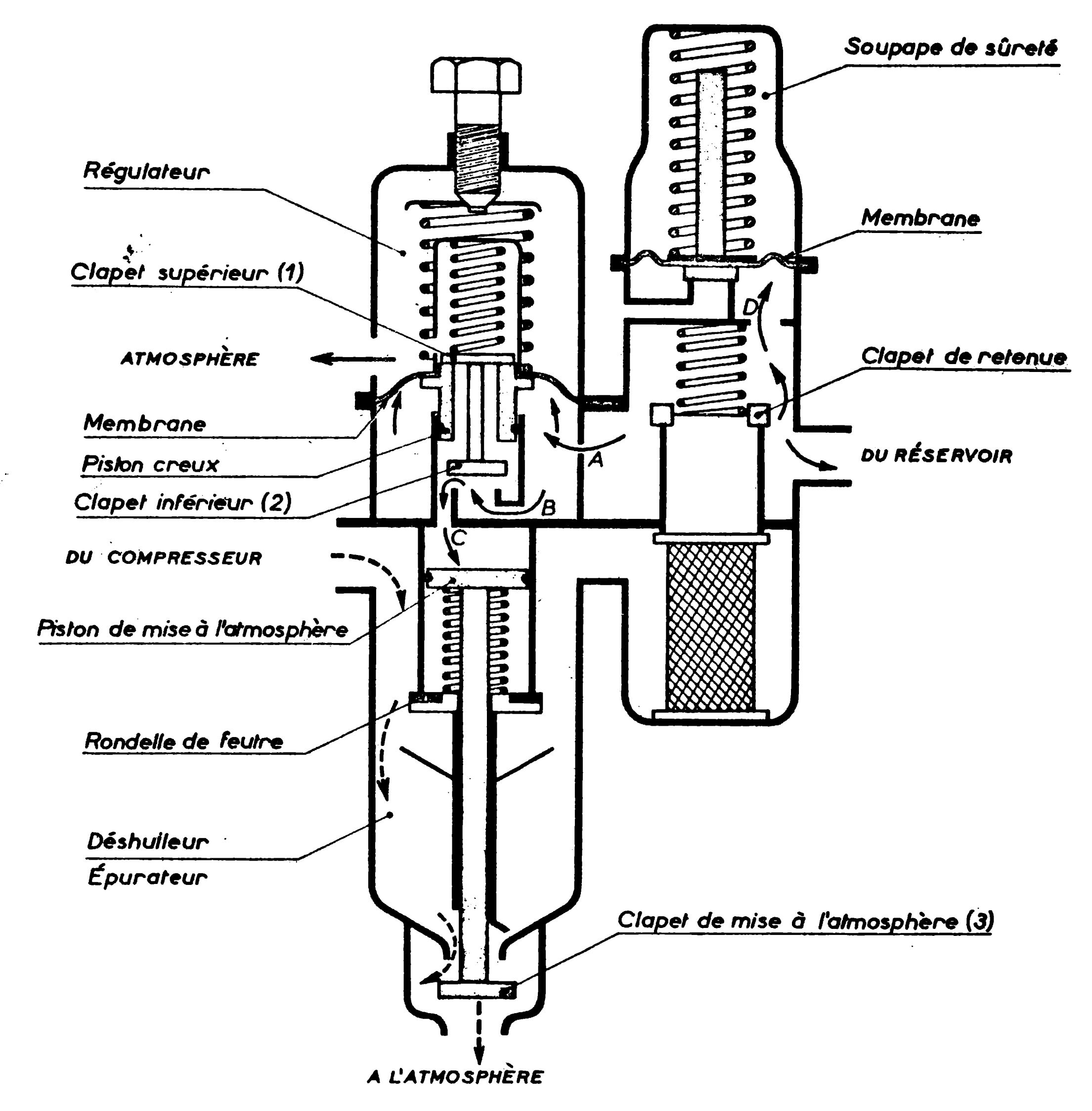


Fig. 3

La fin de la régulation

A la suite de coups de freins répétés, la pression chute dans les réservoirs ; les valves de retenue des réservoirs s'ouvrent. La pression de l'air diminue dans les canalisations. Quand cette pression devient inférieure à la pression limite de régulation, la membrane et le piston creux sont ramenés par le ressort *(fig. 2)*.

— Le clapet inférieur (2) interrompt l'arrivée d'air par le canal B. Le clapet supérieur (1) rétablit la mise à l'atmosphère et l'air sous pression, emmagasiné au-dessus du piston de mise à l'atmosphère, s'échappe par le canal C, puis par le clapet supérieur (1), vers l'atmosphère.

— Le piston de mise à l'atmosphère est rappelé vers le haut par son ressort, ce qui ferme le clapet de mise à l'atmosphère (3). Le compresseur recommence à envoyer de l'air sous pression vers les réservoirs.

Remarques :

1° Pour éviter les battements rapides de la membrane et des clapets 1, 2 et 3, les canaux A B et C ont une section très faible : 2 à 3 millimètres carrés pour B et C et seulement 0,2 millimètre carré pour A.

Le canal A est un gicleur qui amortit les pulsations dues aux variations rapides et répétées de la pression dans les différentes chambres du régulateur.

En cas d'avarie, membrane crevée par exemple, la fuite d'air très faible du gicleur A n'empêche pas l'alimentation des réservoirs. Seule la régulation ne fonctionne pas.

2° L'étanchéité des pistons est assurée par des joints toriques.

Le fonctionnement de la soupape de sûreté

L'air comprimé qui se dirige vers les réservoirs, exerce aussi son action sur la membrane de la soupape de sûreté, en passant par le canal D. Ce clapet est taré pour une pression plus élevée que celle du régulateur *(8 à 9 kg/cm² contre 7,3 kg/cm² pour le régulateur).*

— ***Si le régulateur ne fonctionne pas correctement,*** le compresseur continue à débiter et la pression de l'air pourrait s'élever anormalement. Lorsque l'action de l'air est supérieure à l'action du ressort, la soupape de sûreté s'ouvre et laisse échapper l'air vers l'atmosphère *(fig. 4).*

— ***Quand la pression retombe à une valeur normale,*** la soupape se referme.

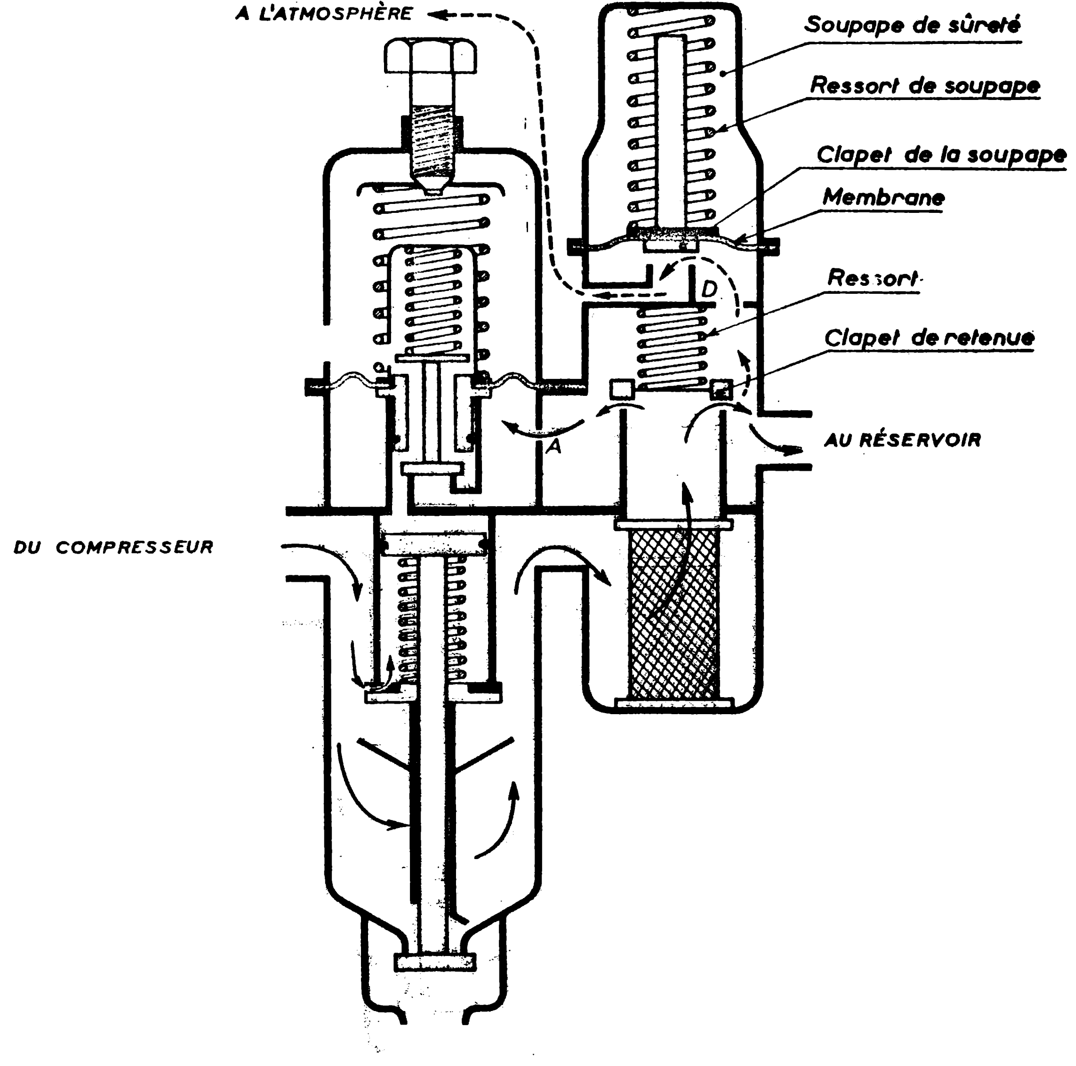


Fig. 4

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE FREINAGE À COMMANDE PNEUMATIQUE (suite)

LE VÉHICULE PORTEUR - TRACTEUR DE MOINS DE 16 TONNES (suite)

LE FREINAGE DU TRACTEUR

La *figure* 1 met en relief le circuit de freinage du tracteur. Ce circuit rappelle celui d'un véhicule porteur de moins de 16 tonnes.

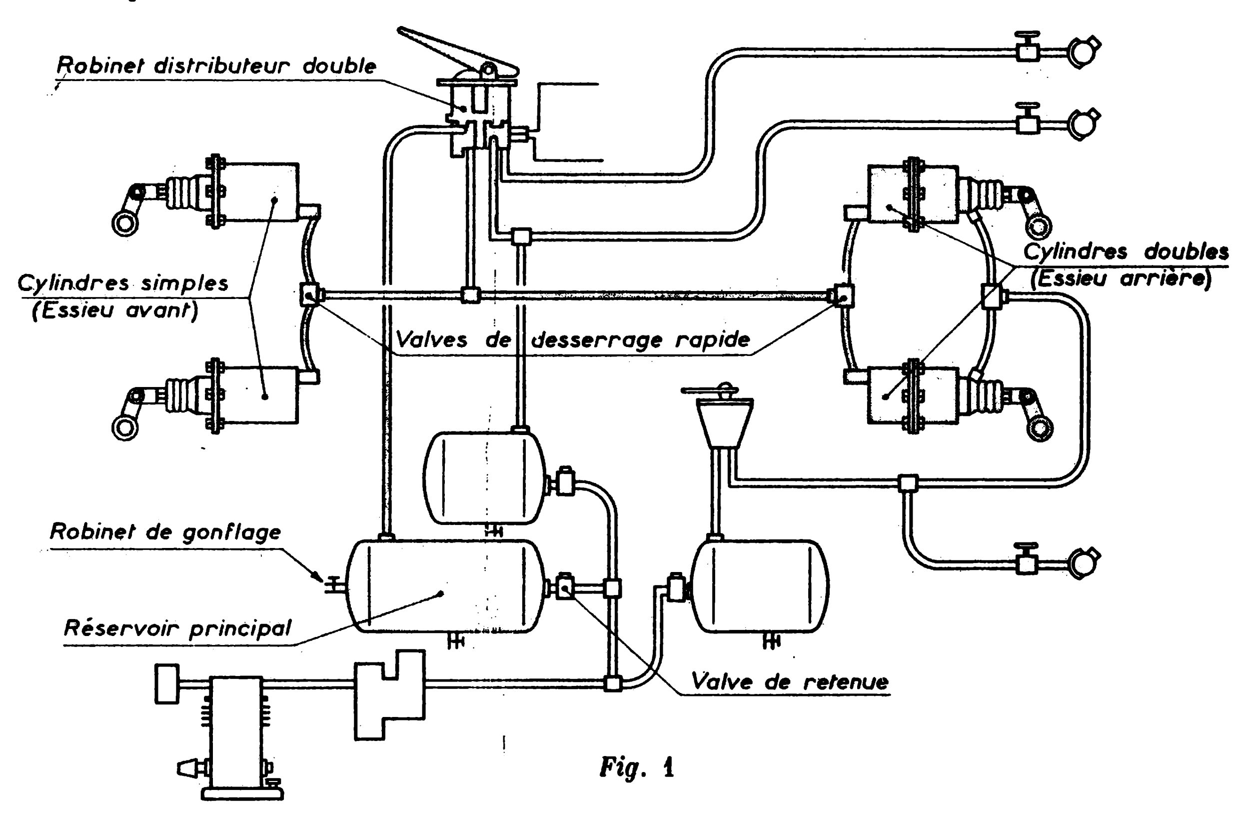


Fig. 1

Le *réservoir principal* alimente ce circuit. Il est isolé du circuit d'alimentation par une valve de retenue. Il est relié à l'un des deux robinets qui constituent le robinet distributeur double dont nous étudierons le fonctionnement dans cette leçon.

Les *cylindres de frein placés à l'avant* sont *simples* et conformes au modèle que nous avons décrit dans une précédente leçon.

Les cylindres de frein montés à l'arrière sont *doubles* car, nous le verrons dans la prochaine leçon, ils doivent pouvoir être commandés indistinctement par le circuit de freinage ou par le circuit de secours.

Les *valves de desserrage rapide* placées à l'avant et à l'arrière accélèrent l'évacuation de l'air et le retour au repos des segments de freins. Nous en avons déjà étudié le fonctionnement.

LE ROBINET DISTRIBUTEUR DOUBLE

Le robinet distributeur double *(fig. 2)* comporte deux robinets distincts; l'un commande le circuit de remorque, l'autre le circuit du tracteur.

Ces deux robinets sont liés aux mouvements de la pédale du frein, par l'intermédiaire d'un galet, d'une tige de poussée et d'un balancier.

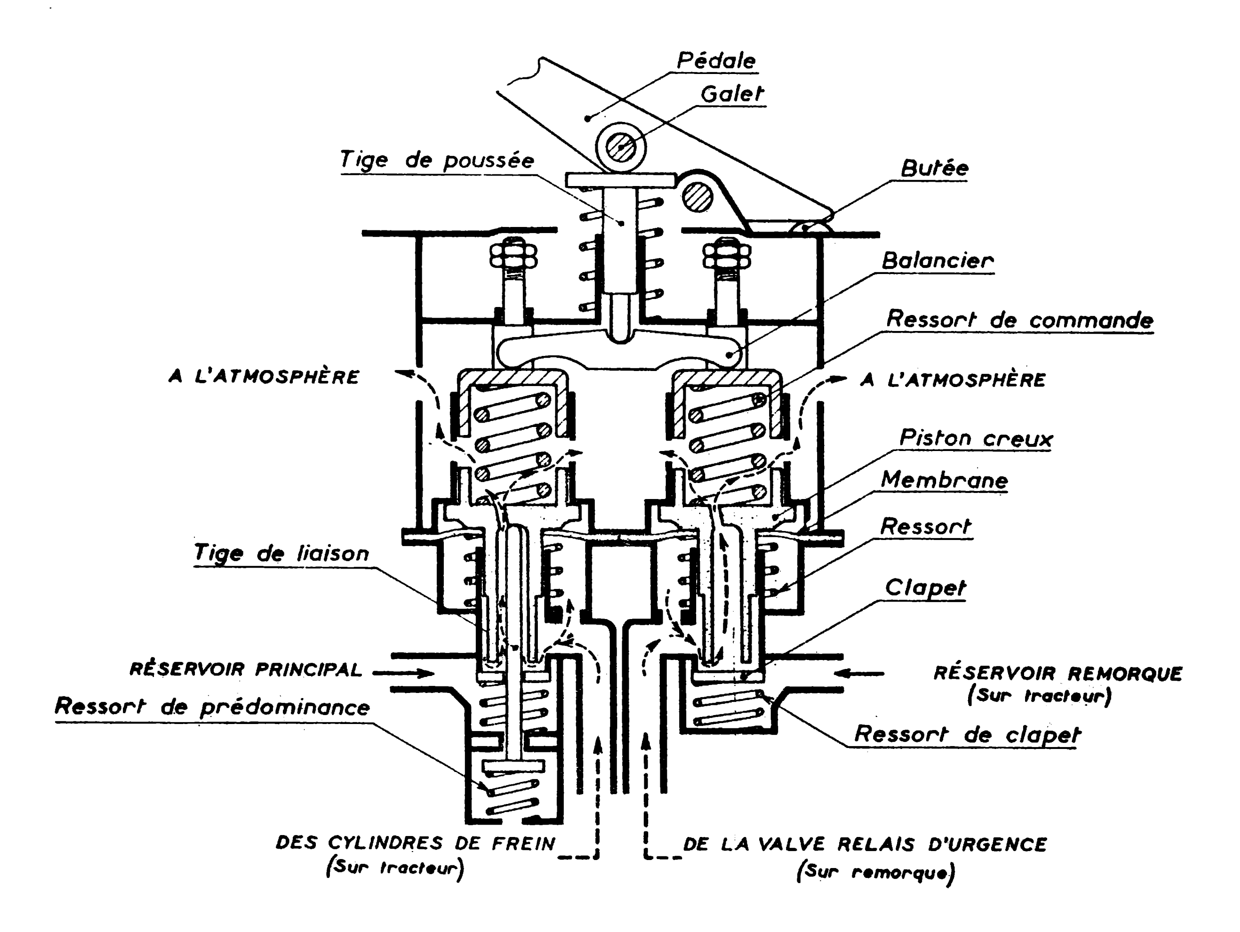


Fig. 2

La prédominance

Pour obtenir un freinage correct, il est indispensable que le freinage de la remorque débute légèrement avant celui du tracteur, sinon la remorque aurait tendance à se mettre en travers. Nous verrons que le freinage de la remorque est assuré par ***la valve relais d'urgence*** placée sur la remorque. Mais, cette valve étant commandée depuis le tracteur, le freinage de la remorque débuterait avec un léger retard, par rapport au tracteur.

Pour compenser ce retard et obtenir un freinage satisfaisant, il faut :

— ouvrir le robinet de commande de la remorque avant celui du tracteur ;
— donner au circuit de la remorque, en début de freinage, une pression légèrement supérieure à celle du circuit principal.

Ce décalage et cette différence de pression prennent le nom de ***prédominance,*** de ***prépondérance*** ou de ***préfreinage*** de la remorque.

Le fonctionnement

— ***Au repos,*** les canalisations des freins de la remorque et celles du tracteur communiquent avec l'atmosphère par la partie creuse de chacun des pistons *(fig. 2).*

— ***En appuyant sur la pédale de frein,*** la tige de poussée fait descendre le balancier. Mais, à cause du ressort de prédominance, le robinet de commande du tracteur oppose au balancier une résistance plus grande que le robinet de commande de la remorque. Il en résulte que le balancier ouvre d'abord le robinet de remorque. Le freinage de la remorque débute *(fig. 3).*

Une partie de l'air comprimé vient s'emmagasiner dans la chambre située sous le piston en passant par le canal A et tend à s'opposer à l'action du ressort de commande. Il se produit un équilibre entre la force du ressort et celle de l'air comprimé.

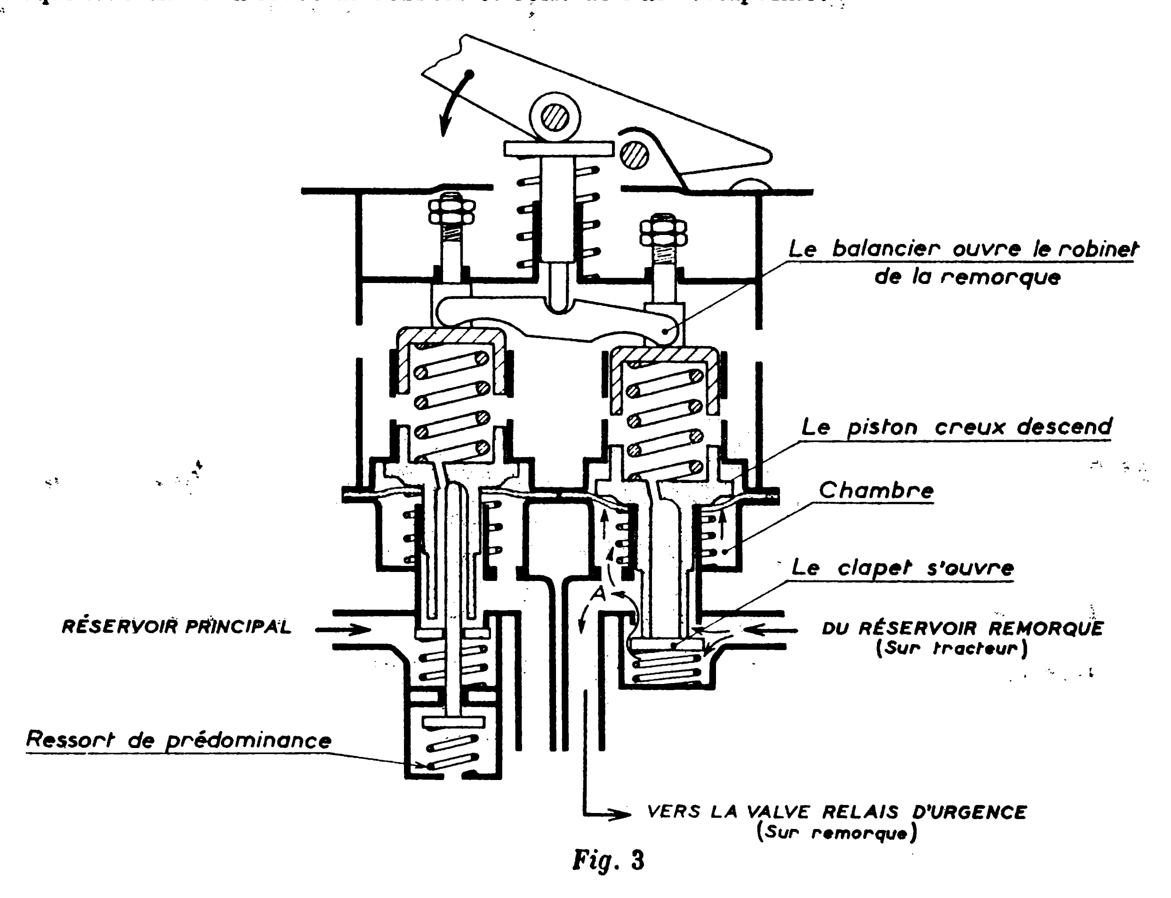


Fig. 3

— ***En accentuant l'action sur la pédale de frein,*** il arrive un moment où la résistance opposée au balancier par les deux robinets devient égale. Le balancier peut alors ouvrir le robinet de commande du tracteur. Le freinage du tracteur débute ainsi, légèrement plus tard que celui de la remorque. Le canal B permet aussi d'adapter la pression de l'air envoyé aux cylindres à l'effort exercé sur la pédale *(fig. 4)*.

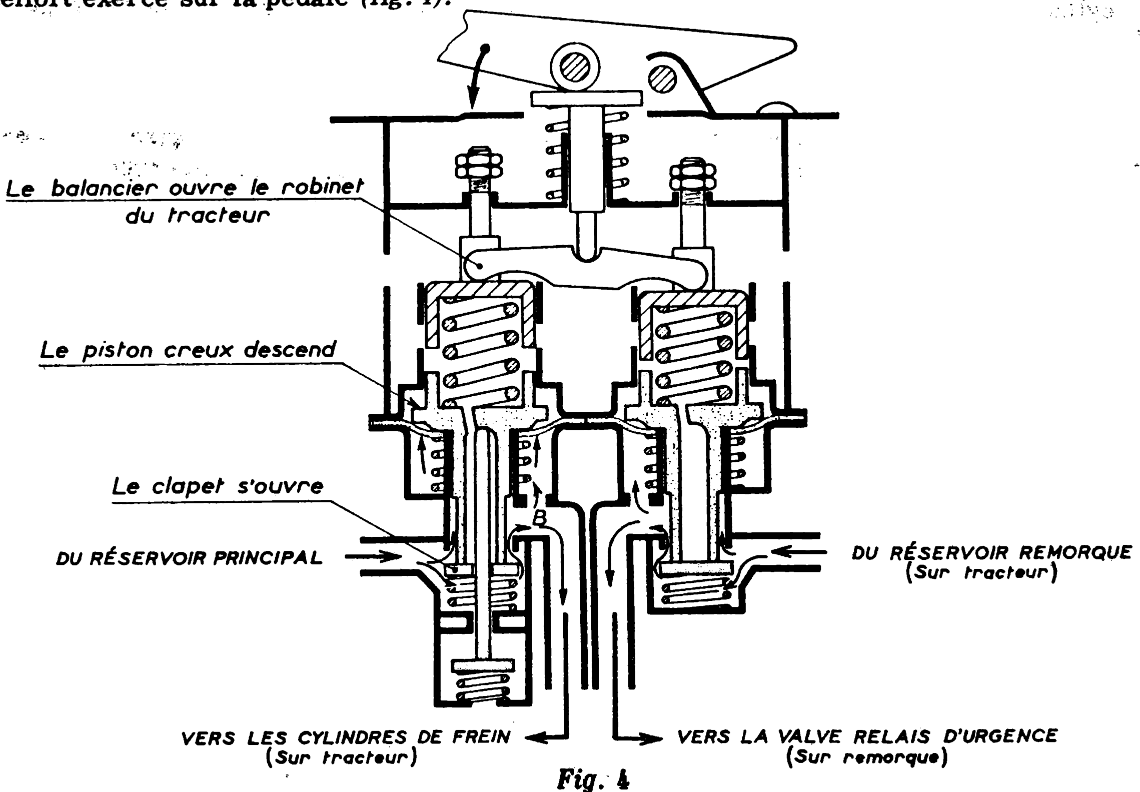


Fig. 4

— ***Lorsque la pression de l'air sous les pistons devient légèrement supérieure à celle exercée par les ressorts de commande,*** les pistons remontent légèrement et permettent aux clapets de revenir sur leurs sièges, tout en les maintenant. Ce mouvement limite la pression de l'air envoyé aux cylindres de frein et à la valve relais d'urgence, en fonction de l'effort exercé par la pédale de frein *(fig. 5).*

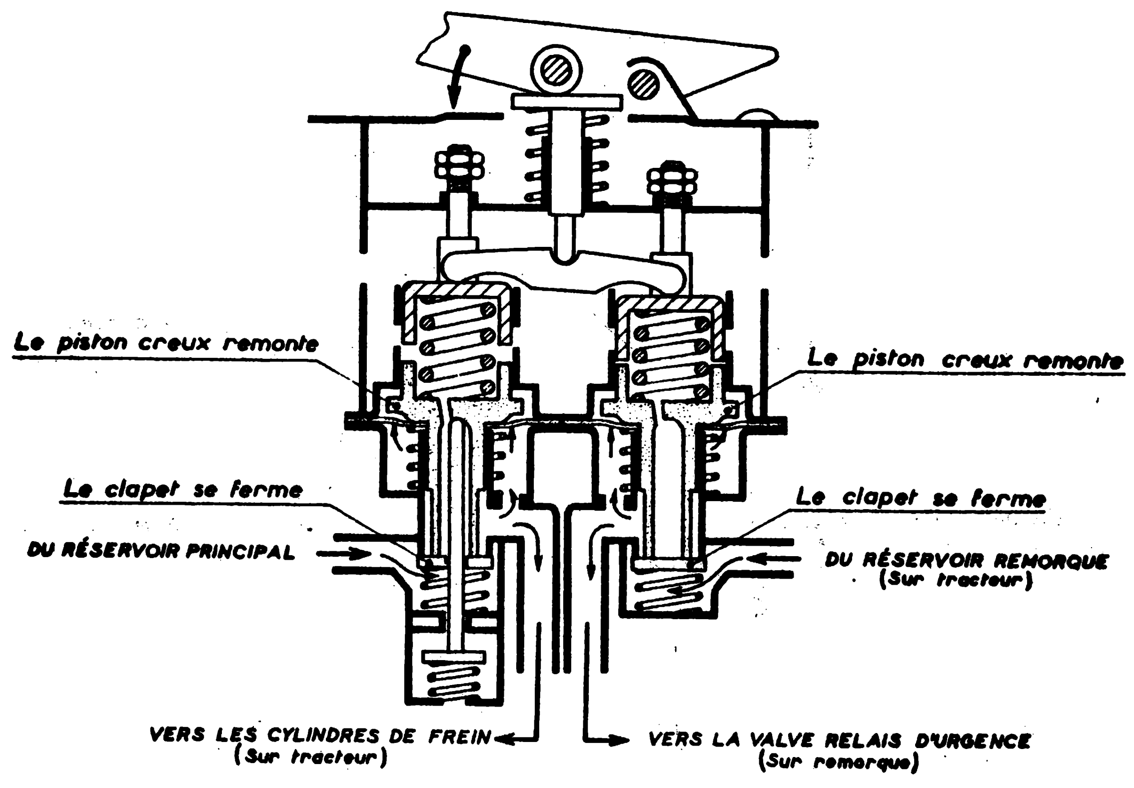


Fig. 5

— ***En relâchant la pédale,*** les deux pistons remontent. La communication avec l'atmosphère des cylindres de frein du tracteur et de la valve relais d'urgence se rétablit. Le freinage cesse *(fig. 2).*

Remarque :

La pression maximum admise dans le circuit de la remorque peut être réglée par les écrous situés à la partie supérieure du robinet qui commande le freinage de la remorque.

Une partie de l'air comprimé vient s'emmagasiner dans la chambre située sous le piston en passant par le canal A et tend à s'opposer à l'action du ressort de commande. Il se produit un équilibre entre la force du ressort et celle de l'air comprimé.

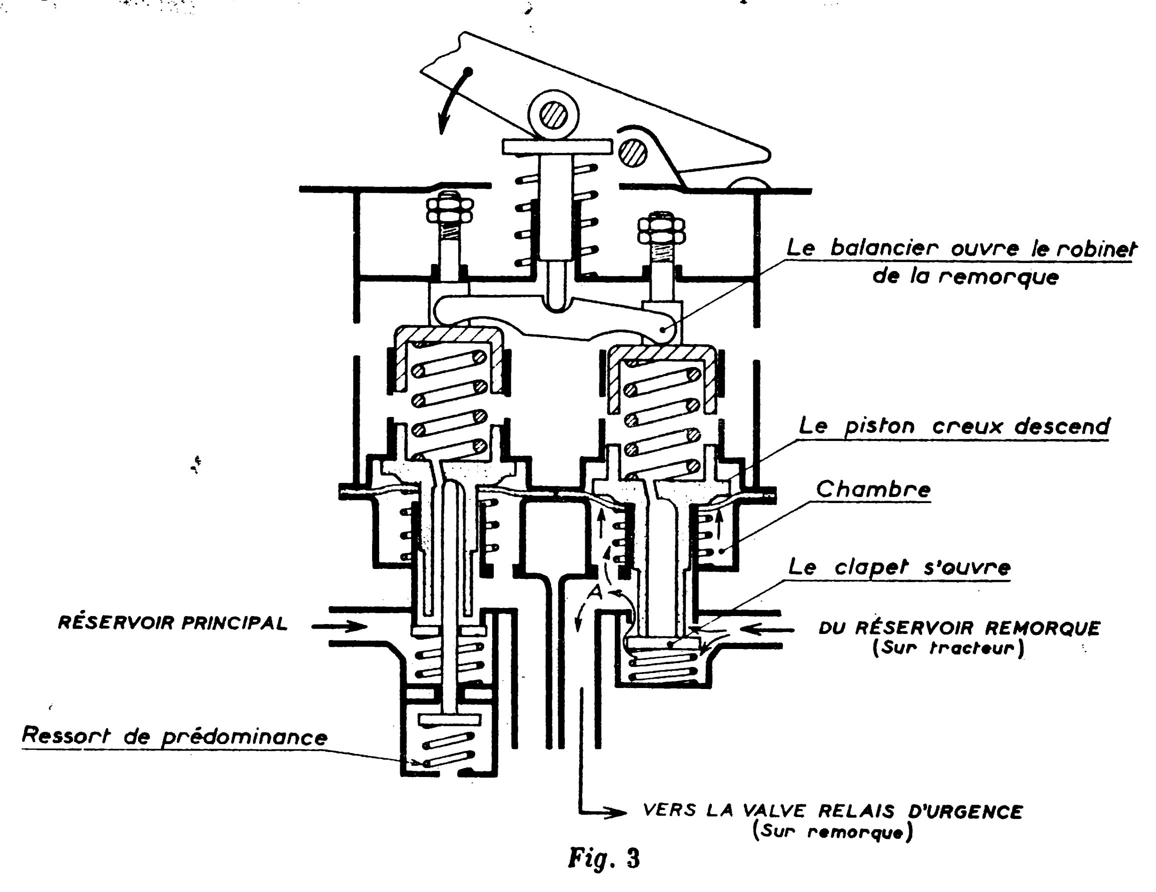


Fig. 3

— ***En accentuant l'action sur la pédale de frein,*** il arrive un moment où la résistance opposée au balancier par les deux robinets devient égale. Le balancier peut alors ouvrir le robinet de commande du tracteur. Le freinage du tracteur débute ainsi, légèrement plus tard que celui de la remorque. Le canal B permet aussi d'adapter la pression de l'air envoyé aux cylindres à l'effort exercé sur la pédale *(fig. 4)*.

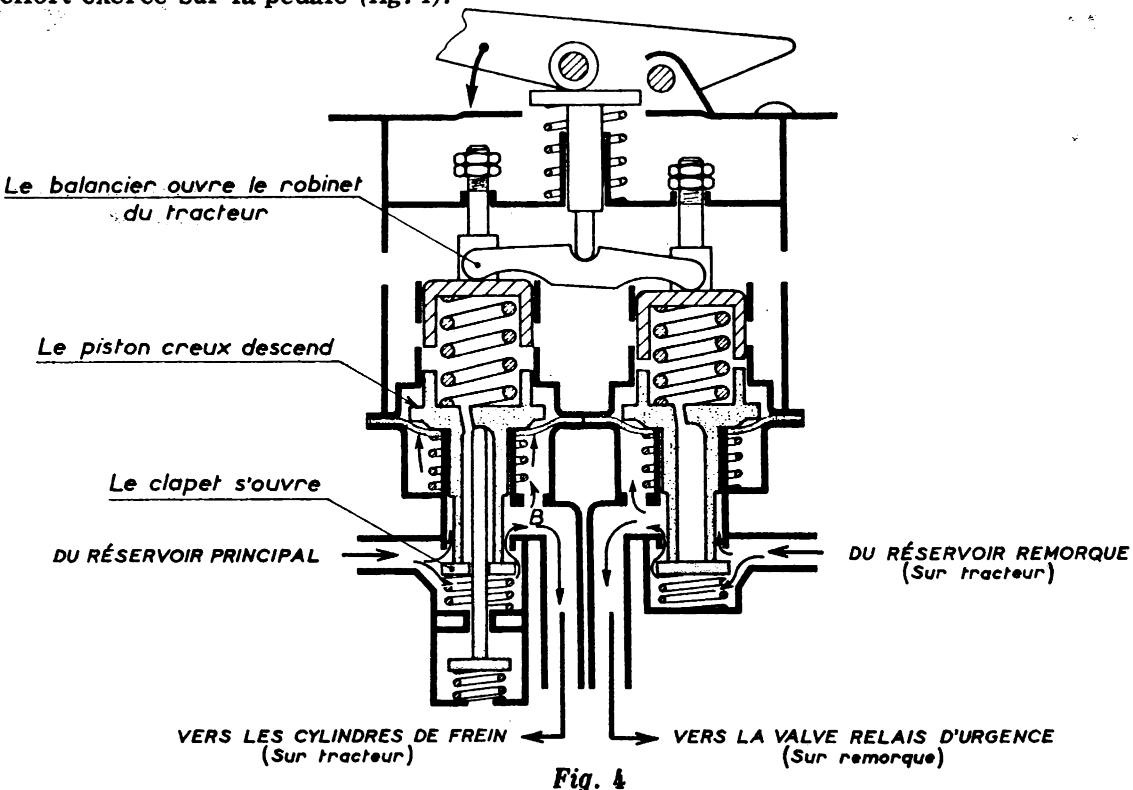


Fig. 4

— Lorsque la pression de l'air sous les pistons devient légèrement supérieure à celle exercée par les ressorts de commande, les pistons remontent légèrement et permettent aux clapets de revenir sur leurs sièges, tout en les maintenant. Ce mouvement limite la pression de l'air envoyé aux cylindres de frein et à la valve relais d'urgence, en fonction de l'effort exercé par la pédale de frein *(fig. 5)*.

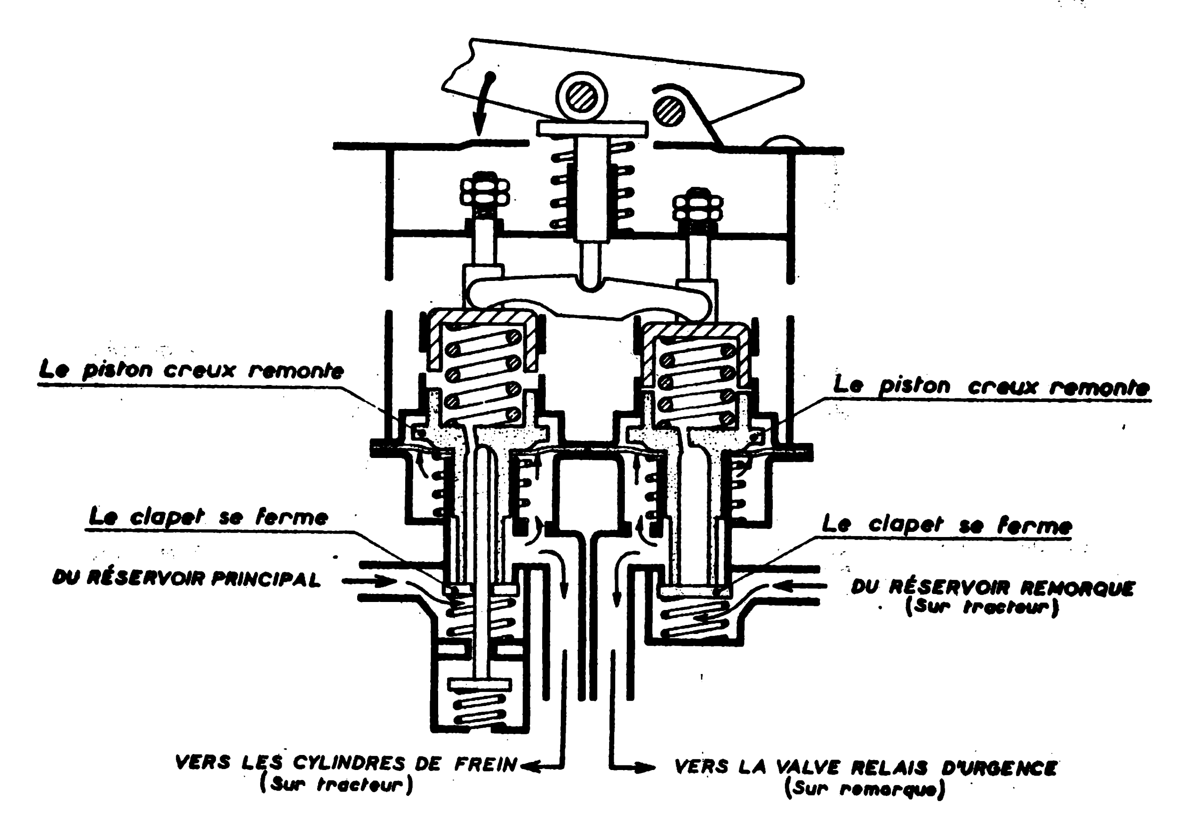


Fig. 5

— En relâchant la pédale, les deux pistons remontent. La communication avec l'atmosphère des cylindres de frein du tracteur et de la valve relais d'urgence se rétablit. Le freinage cesse *(fig. 2)*.

Remarque :

La pression maximum admise dans le circuit de la remorque peut être réglée par les écrous situés à la partie supérieure du robinet qui commande le freinage de la remorque.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE FREINAGE À COMMANDE PNEUMATIQUE (suite)

LE VÉHICULE PORTEUR - TRACTEUR DE MOINS DE 16 TONNES (suite)

Sur les véhicules industriels de tonnage relativement faible, le frein de parcage *(frein à main)* peut servir de frein de secours, à condition que la décélération imposée par le code de la route soit obtenue en utilisant ce dispositif.

Les véhicules industriels de tonnage plus élevé sont équipés d'un dispositif de secours indépendant permettant un freinage énergique en cas de défaillance du circuit normal. Ce dispositif commande l'ouverture des segments de freins.

LA CONSTITUTION DU CIRCUIT DE SECOURS

Pour être conforme aux prescriptions du code de la route, le circuit du frein de secours doit être totalement indépendant *(fig. 1).*

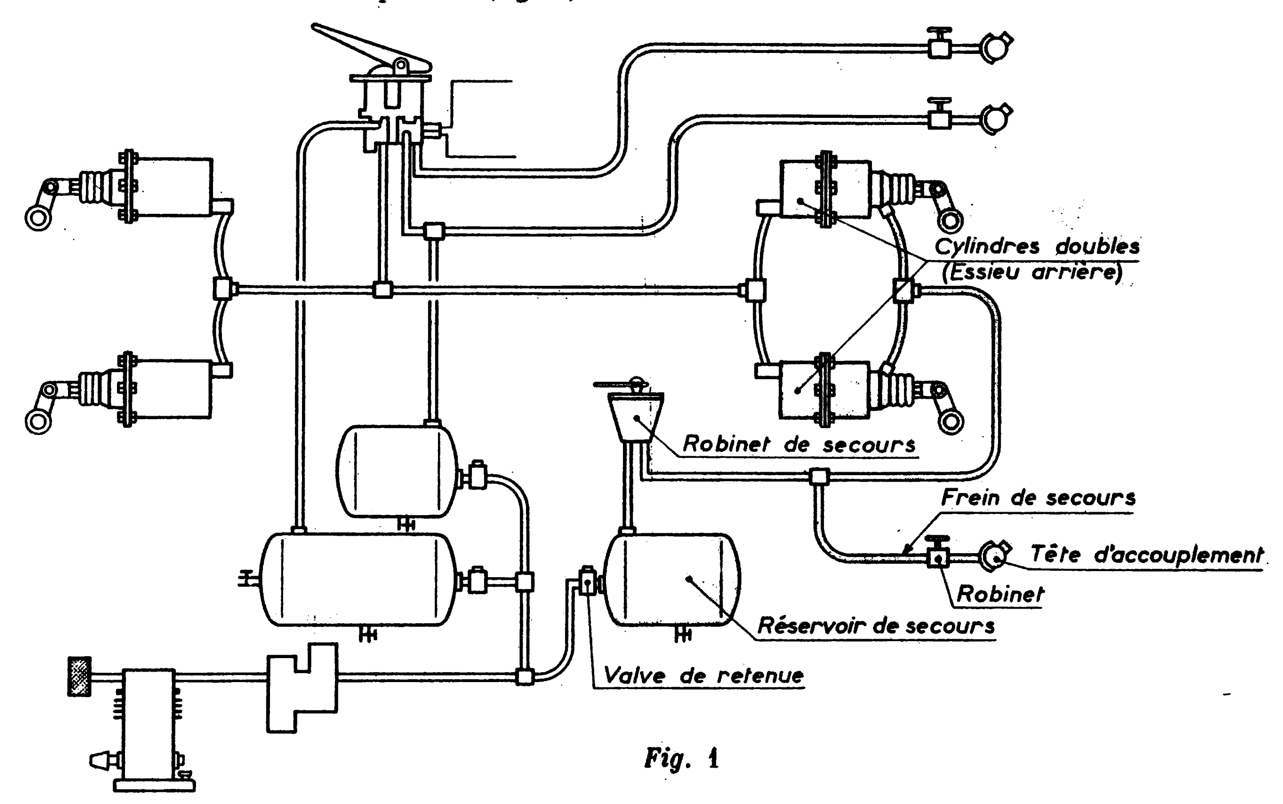


Fig. 1

— Le réservoir est alimenté par le compresseur et isolé par une valve de retenue.

— Le robinet de commande manuel doit être placé impérativement à portée de la main du conducteur.

— Les cylindres de frein sont indépendants des cylindres du frein principal. Certains véhicules sont équipés pour une même roue de deux cylindres séparés ; mais la plupart des véhicules sont équipés de cylindres doubles télescopiques.

— Le dispositif d'écartement des mâchoires est le même pour le système de freinage normal et celui de secours.

LE ROBINET DE COMMANDE

Le robinet du frein de secours, commandé manuellement, relie à volonté le réservoir du circuit de secours aux cylindres de roues.

— *Au repos,* le ressort de commande est détendu. Le piston creux est maintenu en position haute par le ressort de rappel. Les cylindres de frein communiquent avec l'atmosphère *(fig. 2).* L'air comprimé venant du réservoir maintient le clapet double sur son siège inférieur.

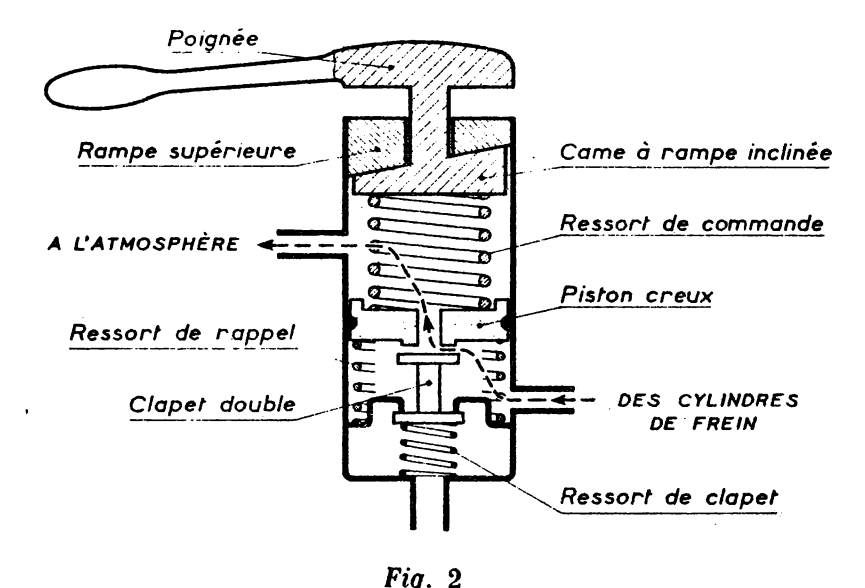


Fig. 2

— ***En tournant la poignée*** d'un angle quelconque, la came à rampe inclinée glisse sur la rampe supérieure taillée dans le corps du robinet. Il se produit un déplacement axial vers le bas, ce qui comprime le ressort de commande. Le piston creux, poussé vers le bas, vient prendre appui sur le clapet double. A ce moment, la communication des cylindres de frein avec l'atmosphère est interrompue.

— ***En accentuant l'action sur la poignée,*** le piston creux ouvre le clapet double *(fig. 3).* L'air comprimé peut alors se diriger vers les cylindres de frein . Le freinage commence. L'air comprimé vient également s'emmagasiner sous le piston, dans la chambre où est placé le ressort de rappel.

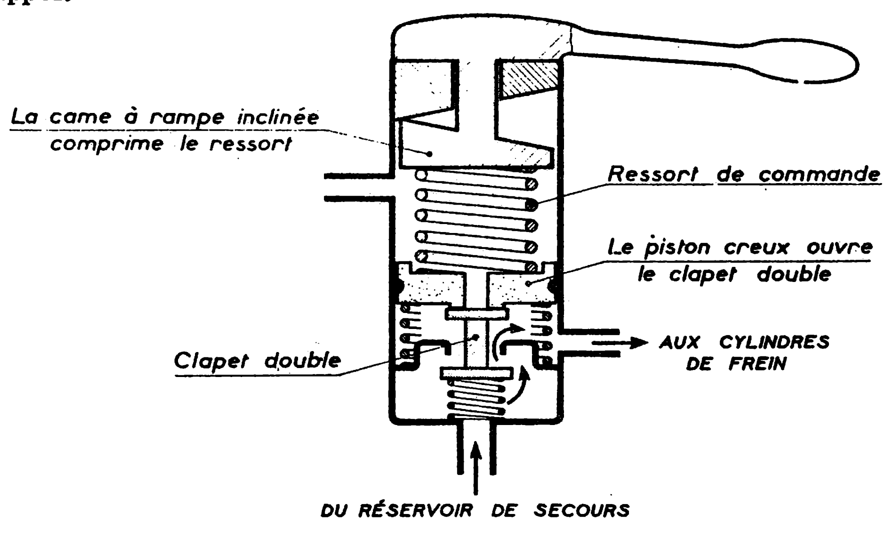


Fig. 3

— ***Lorsque la pression de l'air sous le piston devient légèrement supérieure*** à celle exercée par le ressort de commande, le piston remonte légèrement et permet au clapet double de revenir sur son siège. La pression de l'air envoyé aux cylindres de frein se stabilise à une valeur qui est fonction de la position de la poignée.

— ***En ramenant la poignée vers sa position de départ,*** la came remonte en glissant sur sa rampe. L'effort fourni par le ressort de commande diminue. Le piston creux remonte. La communication des cylindres de frein avec l'atmosphère est rétablie *(fig. 2).* Le freinage cesse.

Remarques :

1° Le frein de secours ne doit, en aucun cas, servir de frein de parcage car, si le circuit n'est pas étanche, le réservoir peut se vider et le véhicule n'est plus immobilisé.

2° Pour éviter l'emploi abusif du frein de secours comme ralentisseur, certains robinets, dits à *sensibilité réduite,* sont réglés pour que toute progressivité soit supprimée au-dessous de 2 à 3 kilogrammes par centimètre carré.

3° Certains robinets comportent une came classique *(fig. 4a et 4b),* au lieu de la came à rampe inclinée.

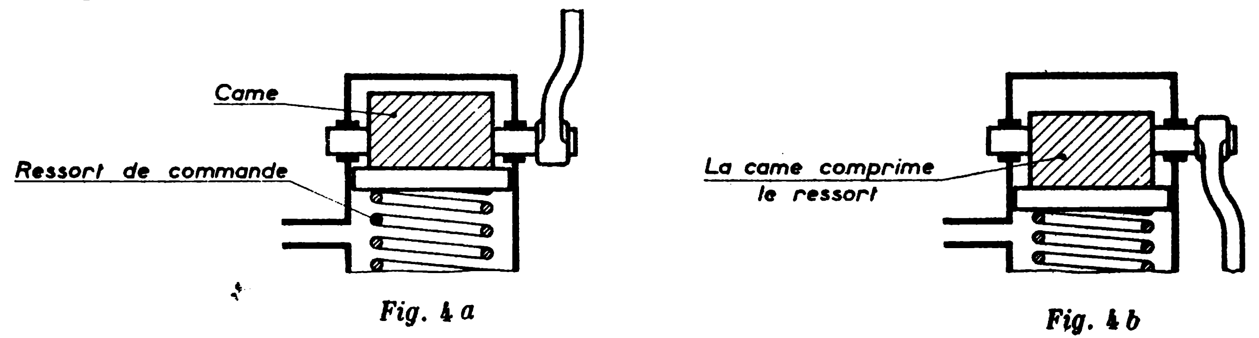


Fig. 4 a *Fig. 4 b*

LE CYLINDRE DOUBLE

Le cylindre double est utilisé sur les roues arrière dans le cas où le frein de secours est aussi actionné par l'air comprimé. Il se compose de deux cylindres simples concentriques dans lesquels se déplacent deux pistons qui commandent la même bielle de poussée *(fig. 5).*

— Le *cylindre extérieur* sert au freinage principal. Le déplacement du grand piston est provoqué par l'air comprimé venant du robinet de commande.

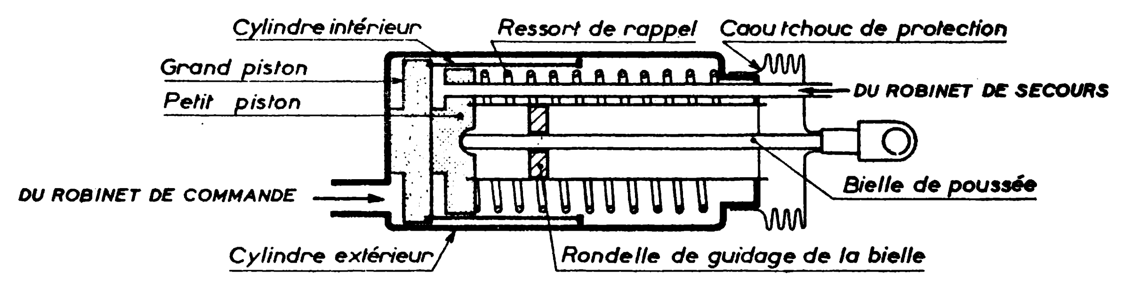


Fig. 5

— Le *cylindre intérieur* sert au frein de secours. Le déplacement du petit piston est provoqué par l'air comprimé envoyé par le robinet du frein de secours.

LES VASES À DIAPHRAGME

Les cylindres doubles sont parfois remplacés par des vases à triple diaphragme *(fig. 6)* qui, outre leur faible encombrement, présentent l'avantage de supprimer le frottement du piston sur le cylindre.

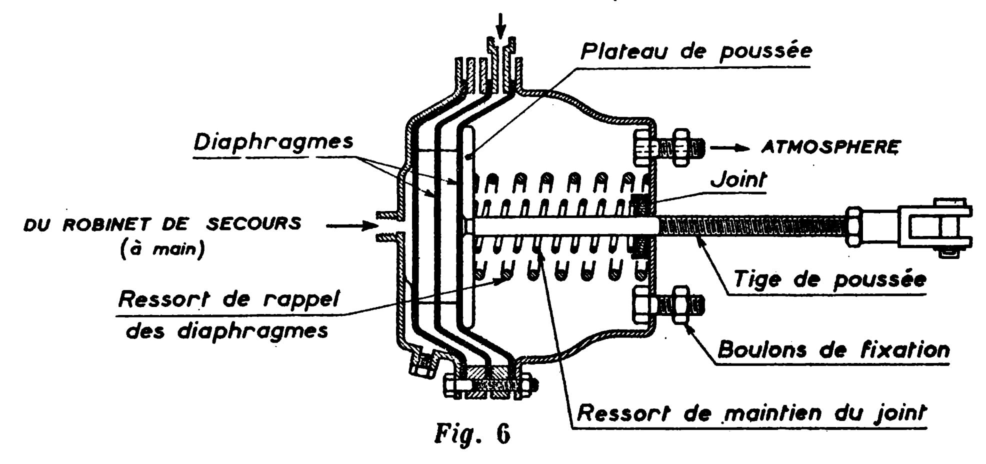


Fig. 6

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE FREINAGE À COMMANDE PNEUMATIQUE (suite)

LE VÉHICULE PORTEUR - TRACTEUR DE MOINS DE 16 TONNES (suite)

LE FREINAGE DE LA REMORQUE

Les trois canalisations à l'arrière du tracteur sont reliées par des têtes d'accouplement aux trois canalisations correspondantes sur la remorque *(fig. 1)*.

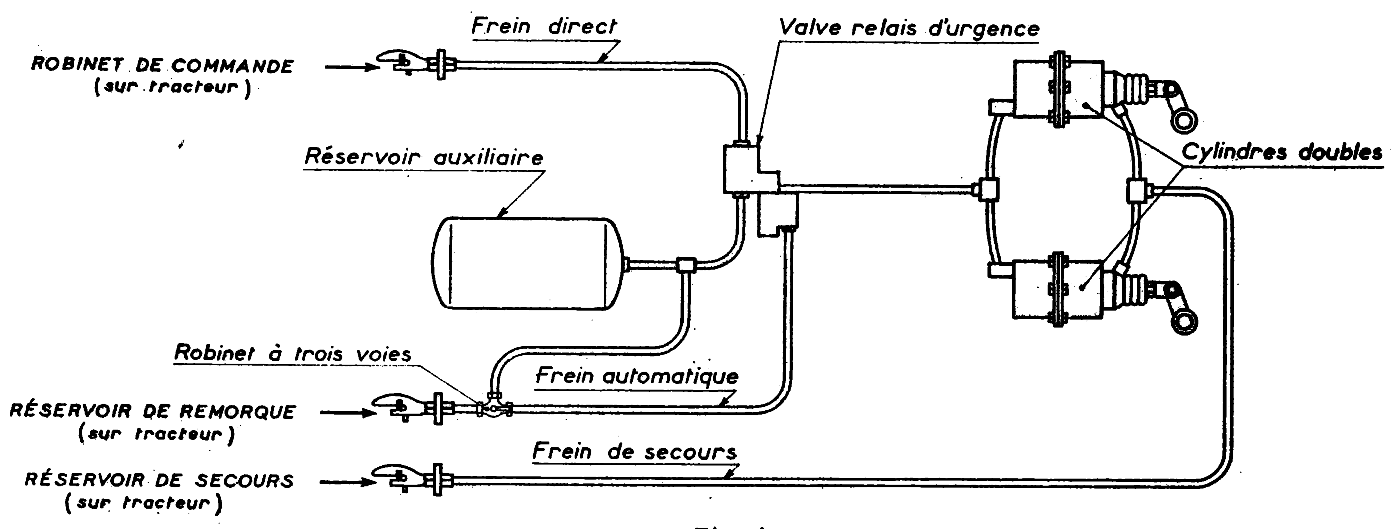


Fig. 1

— La *première* relie le robinet de commande sur le tracteur à la valve relais d'urgence placée sur la remorque *(frein direct)*.

— La *deuxième* relie le réservoir d'air de remorque placé sur le tracteur au réservoir d'air auxiliaire installé sur la remorque, en passant par la valve relais d'urgence *(frein automatique)*. Ce frein automatique assure le freinage de la remorque, en cas de rupture d'attelage.

— La *troisième* relie le robinet du frein de secours aux cylindres doubles de la remorque *(frein de secours)*.

Le frein de secours, commandé par un robinet à main placé dans la cabine, agit sur les cylindres de la remorque, en même temps que sur ceux des roues arrière du tracteur.

LA VALVE RELAIS D'URGENCE

La valve relais d'urgence joue un rôle essentiel dans le freinage des remorques. Elle remplit quatre fonctions différentes :

— elle assure la mise en pression du réservoir auxiliaire ;
— elle commande le freinage de la remorque ;
— elle commande le freinage automatique de la remorque, en cas de rupture d'attelage ;
— elle permet le desserrage des freins, lorsque la remorque est désaccouplée, après manœuvre du *robinet a trois voies.*

Pour bien comprendre le fonctionnement de la valve relais d'urgence, il est indispensable, qu'au préalable, vous étudiiez attentivement sa constitution.

La constitution

La *figure* 2 montre qu'une valve relais d'urgence comprend :

— la membrane supérieure : commande de freinage normal,
— la membrane inférieure : commande de freinage d'urgence,
— quatre clapets A, B, C et D,
— la valve régulatrice de pression,
— l'orifice 1 relié au robinet de commande de frein direct,
— l'orifice 2 communiquant avec le réservoir de remorque placé sur le tracteur,
— l'orifice 3 réuni au réservoir auxiliaire sur la remorque,
— l'orifice 4 raccordé aux cylindres de frein de la remorque,
— l'orifice 5 assurant la mise en communication avec l'atmosphère.

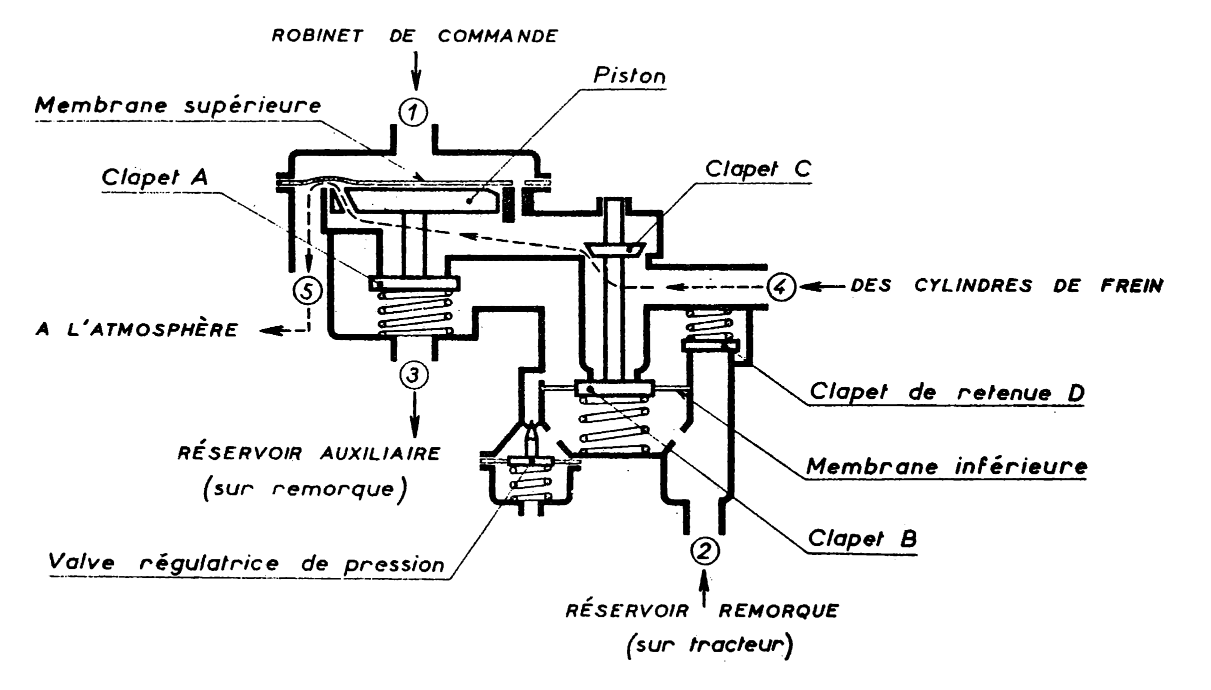


Fig. 2

La mise en pression du réservoir auxiliaire

Dès que le moteur tourne, le compresseur envoie de l'air sous pression dans le réservoir de remorque placé sur le tracteur. Cet air arrive ensuite à l'orifice 2 *(fig. 3)*.

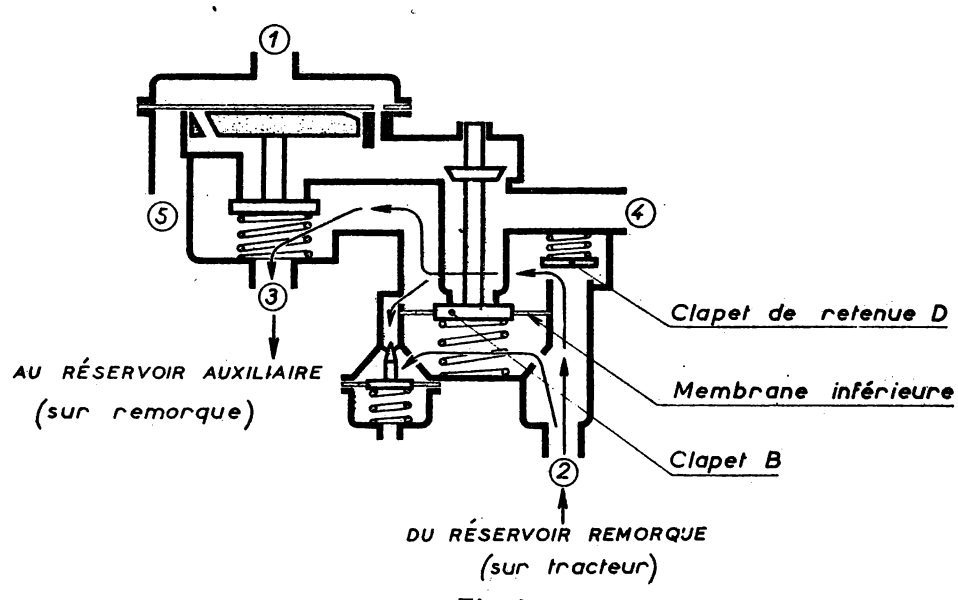


Fig. 3

— La pression de l'air qui s'exerce sur la membrane inférieure renforce l'action du ressort, pour plaquer le clapet B sur son siège.

— L'air soulève le clapet de retenue D et se dirige vers le réservoir auxiliaire par des canaux et par l'orifice 3.

Le freinage de la remorque

Lorsque le conducteur freine, le robinet de commande envoie de l'air sous pression en direction de l'orifice 1 *(fig. 4).*

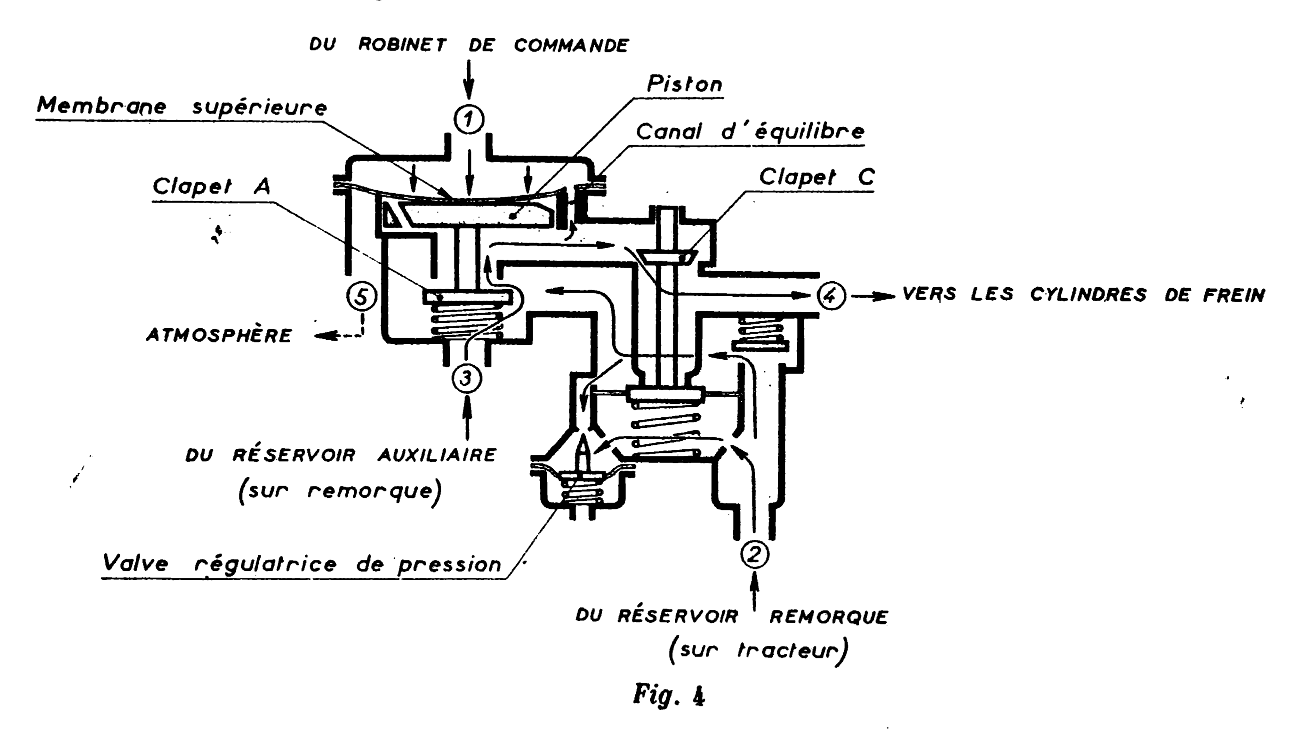


Fig. 4

— L'air repousse la membrane supérieure et ferme la mise à l'air libre.

— Le clapet A qui est lié à la membrane s'ouvre. L'air du réservoir auxiliaire se dirige vers les cylindres de frein, en passant par le clapet C et l'orifice 4.

— Lorsque les pressions de chaque côté de la membrane sont égales, le clapet A est rappelé par son ressort. La communication entre le réservoir auxiliaire et les cylindres de frein est interrompue. Mais, comme la mise à l'atmosphère ne s'ouvre pas, les cylindres de frein restent en pression. Par ce procédé, la pression de l'air dirigé vers les cylindres de frein est fonction de la pression de l'air envoyé par le robinet de commande.

Pour qu'il n'y ait pas de trop grandes différences de pression dues au frottement du piston, un canal d'équilibre relie les deux côtés de la membrane. Ce canal a une très faible section *(0, 8 mm² environ),* pour éviter que tout l'air comprimé venant du robinet de commande passe par cet orifice, ce qui nuirait au bon fonctionnement de la membrane supérieure, du piston et du clapet A.

Le défreinage

Au moment du défreinage, l'air sous pression provenant du robinet de commande, s'échappe à l'atmosphère. La pression de l'air des cylindres de frein repousse le piston et la membrane supérieure, et ouvre la mise à l'air libre. Cette membrane joue le rôle d'une valve de desserrage rapide.

Le freinage d'urgence en cas de rupture d'attelage

Si l'attelage se rompt et que la conduite automatique arrivant à l'orifice 2 est coupée, le clapet de retenue D se ferme *(fig. 5 au verso).*

— Une chute de pression se produit sous la membrane inférieure et sur la membrane de la valve régulatrice qui se ferme.

— La pression du réservoir auxiliaire abaisse la membrane inférieure. Le clapet B s'ouvre et le clapet C de mise à l'air libre se ferme.

— L'air du réservoir auxiliaire se dirige vers les cylindres de frein, par l'orifice 4.

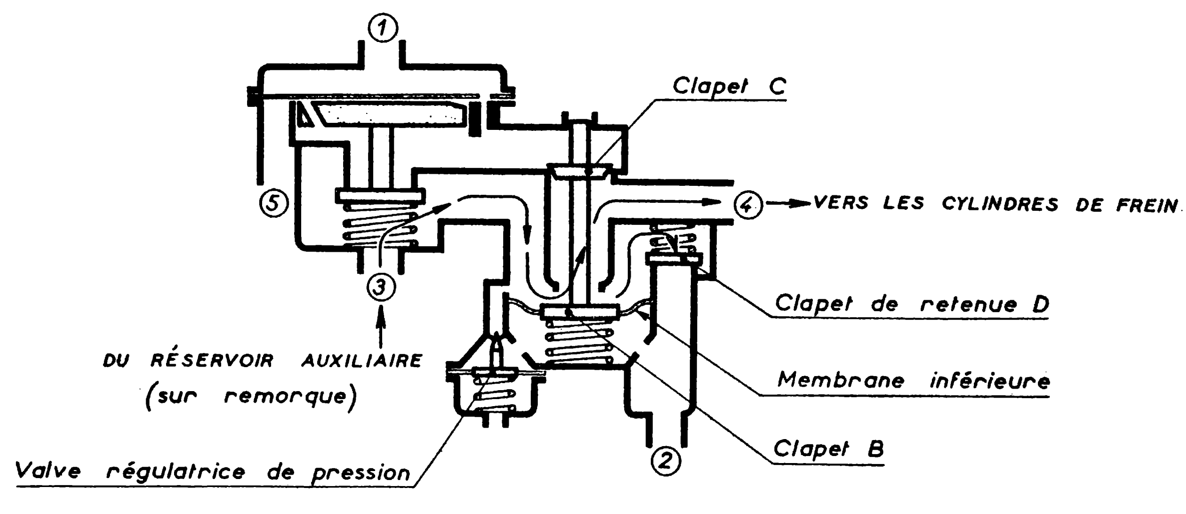


Fig. 5

La remorque reste freinée tant que la conduite automatique est rompue, ou que le réservoir auxiliaire est en pression.

Le rôle de la valve régulatrice de pression

Lorsque la pression de l'air au-dessus de la membrane de cette valve atteint 5 kg/cm², la valve s'ouvre.

Un équilibre de pression s'établit de chaque côté de la membrane inférieure, entre le réservoir principal et le réservoir auxiliaire, tant que la pression est supérieure à 5 kg/cm².

La pression dans le réservoir principal étant de 8 kg/cm², une chute légère de pression dans la canalisation automatique n'aura aucune influence sur la membrane inférieure, et ne risquera pas de provoquer un freinage d'urgence intempestif.

LE ROBINET À TROIS VOIES

Lorsqu'on dételle le tracteur, il se produit un serrage automatique des freins de la remorque.

La manœuvre du robinet à trois voies permet, avant de dételer, de relier le réservoir auxiliaire à la valve relais d'urgence. Le freinage d'urgence ne peut plus se produire et le déplacement à la main de la remorque reste possible.

En outre, ce robinet isole le réservoir de l'air libre, lors du dételage de la remorque.

Bien entendu, ce robinet doit être replacé dans sa position normale *(serrage)* avant le réaccouplement du tracteur.

Toutes les leçons doivent être conservées.

LE FREINAGE À COMMANDE OLÉOPNEUMATIQUE

Le freinage à commande oléopneumatique se présente selon deux dispositifs courants :

Premier dispositif : — une commande pneumatique des segments de frein,
— une commande hydraulique du circuit d'air comprimé.

Deuxième dispositif : — une commande hydraulique des segments de frein,
— une commande pneumatique des circuits hydrauliques.

INSTALLATION GÉNÉRALE DU PREMIER DISPOSITIF

La *figure* 1 présente l'installation générale d'une installation de freinage à commande oléopneumatique. Tous les éléments de cette installation sont connus à l'exception de l'appareil de commande appelé centrale *(type Marelli-Dahl)* dont nous étudierons le fonctionnement.

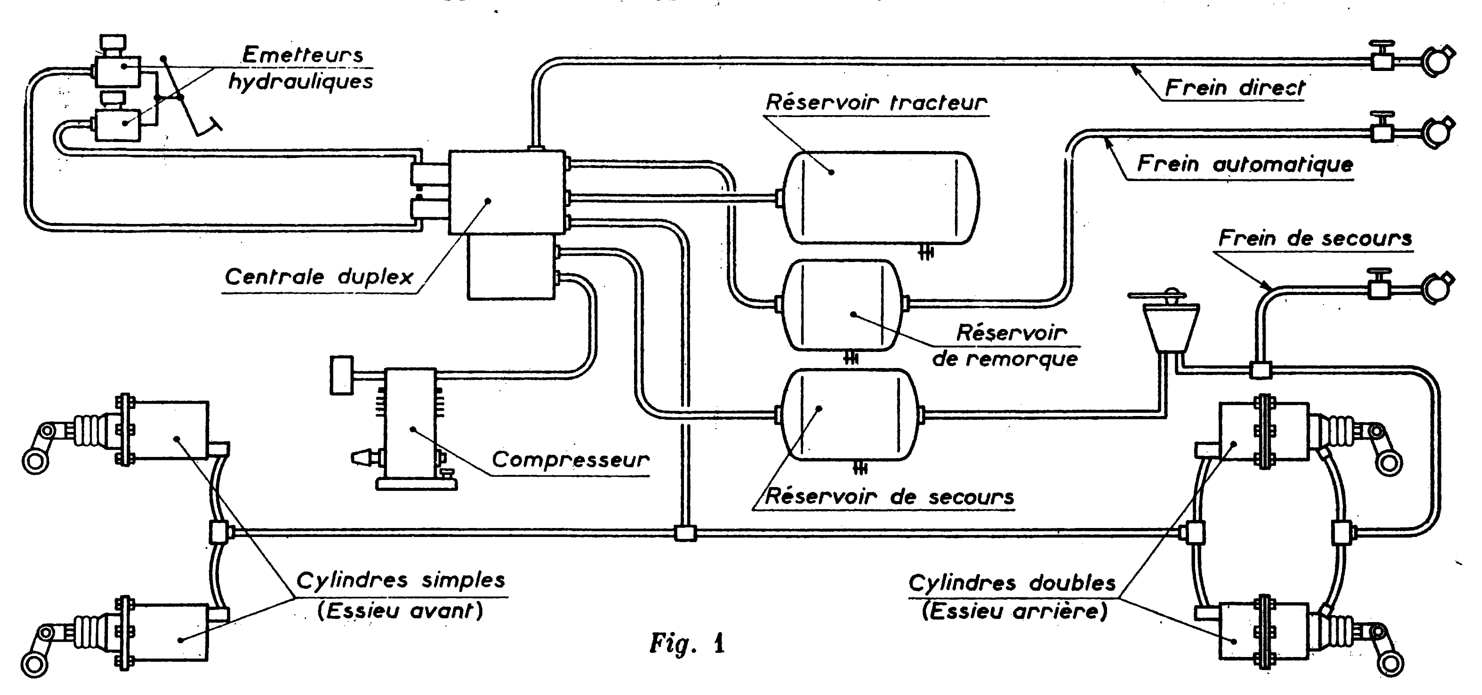


Fig. 1

LA CENTRALE À DEUX ROBINETS

Pour les véhicules porteurs-tracteurs de moins de 16 tonnes, la centrale doit comporter deux robinets indépendants qui assurent séparément le freinage des roues du tracteur et le freinage des roues de la remorque.

La commande des deux robinets est réalisée grâce à deux maître-cylindres appelés aussi émetteurs hydrauliques actionnés par la pédale. Les deux maître-cylindres sont totalement indépendants et commandent chacun le fonctionnement d'un robinet par des circuits indépendants.

Une centrale de commande de freinage comporte deux parties principales :

— *L'épurateur-régulateur* assure le déshuilage automatique de la centrale, la régulation de la pression de freinage et aussi l'alimentation directe du frein de secours.

— *Le distributeur* contient les robinets de commande qui commandent les différents circuits. Il comporte aussi trois indicateurs de basse pression *(secours, tracteur, remorque)* et un contacteur de stop.

Le régulateur - épurateur

L'air provenant du compresseur pénètre dans l'épurateur et traverse le filtre. Les résidus en suspension dans l'air se condensent sur les déflecteurs et s'accumulent dans la partie inférieure de l'épurateur. L'air épuré ouvre les clapets de retenue *(fig. 2)* et alimente :

— les réservoirs principaux *(tracteur et remorque)* par deux canaux prolongés dans le distributeur *(sur le dessin, les deux canaux apparaissent confondus) ;*

— le réservoir de secours par un canal indépendant.

Un petit conduit usiné dans le corps du distributeur *(en pointillés sur la figure)* relie l'un des canaux principaux à un clapet de régulation qui, au début de la charge, est appliqué sur son siège par son ressort.

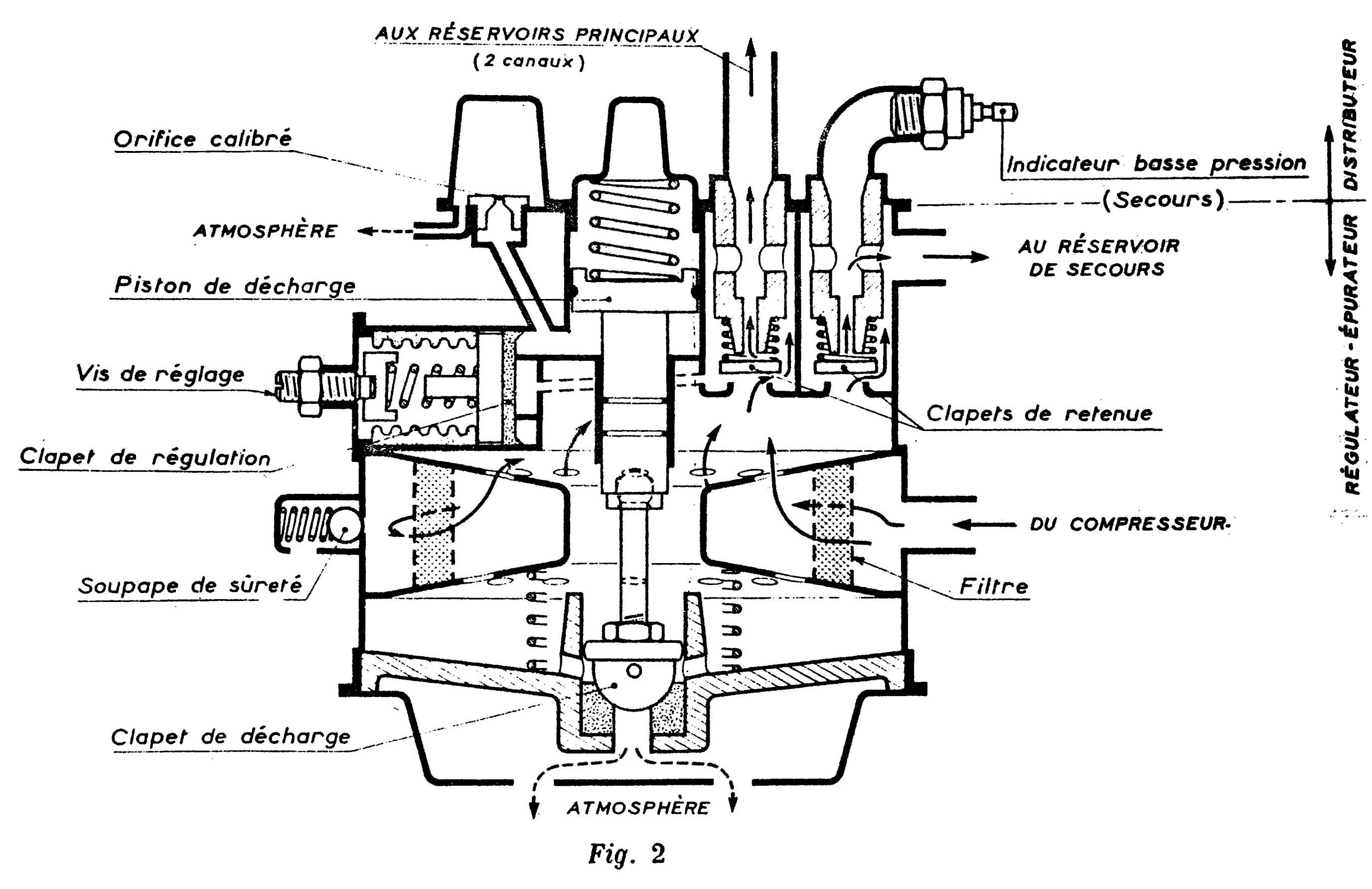


Fig. 2

— Dès que la pression maximum est atteinte *(8 kg/cm² environ)*, le clapet de régulation s'ouvre, l'air est admis sous le piston de décharge qui se déplace vers le haut et entraîne avec lui le clapet de décharge mettant ainsi la chambre de l'épurateur en communication avec l'atmosphère. Les résidus de condensation sont évacués. Le compresseur travaille alors à vide et se refroidit en refoulant l'air à l'atmosphère *(voir figure du devoir).*

— Dès qu'un prélèvement d'air est effectué sur le réservoir principal ou que la pression s'abaisse par l'orifice calibré, le ressort du clapet de régulation devient prépondérant et applique le clapet sur son siège coupant l'arrivée d'air sous le piston de décharge. La pression résiduelle s'exerçant sous le piston s'échappe par l'orifice calibré. Le ressort du piston de décharge ramène le clapet de décharge sur son siège.

Le distributeur

La tête du distributeur comporte deux pistons récepteurs *(fig. 3)* reliés aux deux émetteurs hydrauliques actionnés par la pédale de frein. Dès que le conducteur appuie sur la pédale de frein, il se produit une augmentation de pression dans les circuits hydrauliques.

— Les pistons récepteurs se déplacent vers la droite et poussent les deux balanciers qui, à leur tour, provoquent le déplacement des pistons de commande par l'intermédiaire des ressorts de commande.

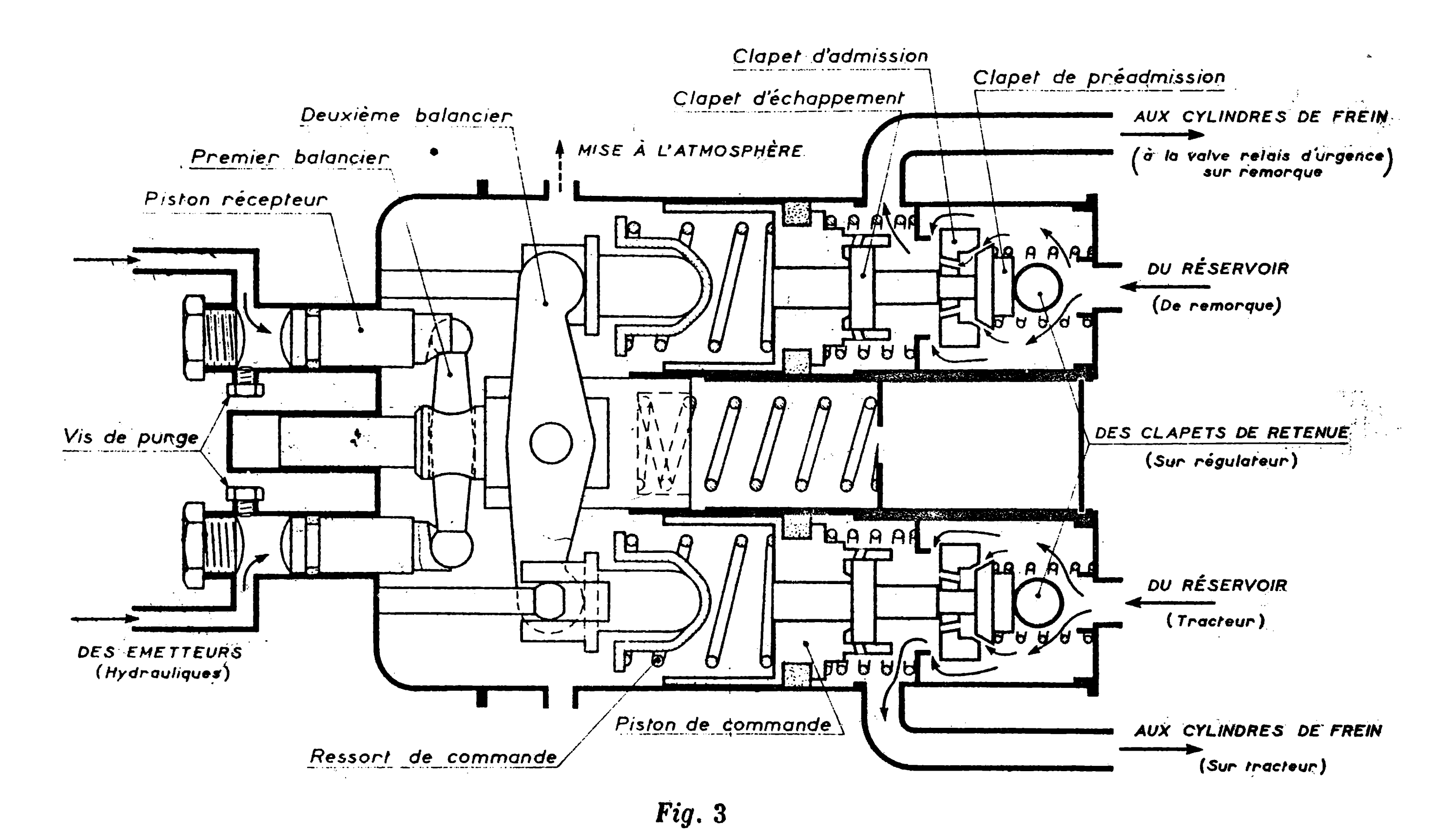


Fig. 3

— Le piston de commande vient prendre appui sur le clapet d'échappement, ce qui interrompt la mise à l'atmosphère.

— Le clapet de préadmission d'abord, puis le clapet d'admission s'ouvrent mettant en communication les réservoirs et les conduites d'alimentation des cylindres de frein.

A tout effort sur la pédale de frein correspond une pression de freinage bien déterminée. A toute pression dans les circuits hydrauliques, correspond une tension donnée aux ressorts de commande, équilibrée par les pressions agissant sous les pistons de commande. Dans cette position d'équilibre, les clapets d'échappement, de préadmission et d'admission sont fermés.

La pression maximum est auto-limitée à une valeur prédéterminée *(7 kg/cm² environ)*, obtenue par la butée des coupelles contre le corps du distributeur.

La prédominance

La prédominance est obtenue par la différence de section existant entre les clapets de préadmission. Cette différence provoque un déphasage de 0,5 kg/cm² qui diminue progressivement et s'annule vers 3 kg/cm².

Remarque :

L'utilisation de cette centrale procure une grande sécurité, car les circuits d'alimentation sont indépendants. En cas de défaillance d'un des circuits, l'effort de la pédale est transmis au circuit intact qui actionne le premier balancier dont le débattement limité permet de transmettre intégralement l'effort au second balancier. Les deux robinets assurent alors un freinage normal.

LA CENTRALE À TROIS ROBINETS

Pour les véhicules porteurs-tracteurs de plus de 16 tonnes, la centrale comporte trois robinets indépendants *(fig. 4 au verso)*.

Le freinage des roues avant, des roues arrière et des roues de la remorque est assuré séparément.

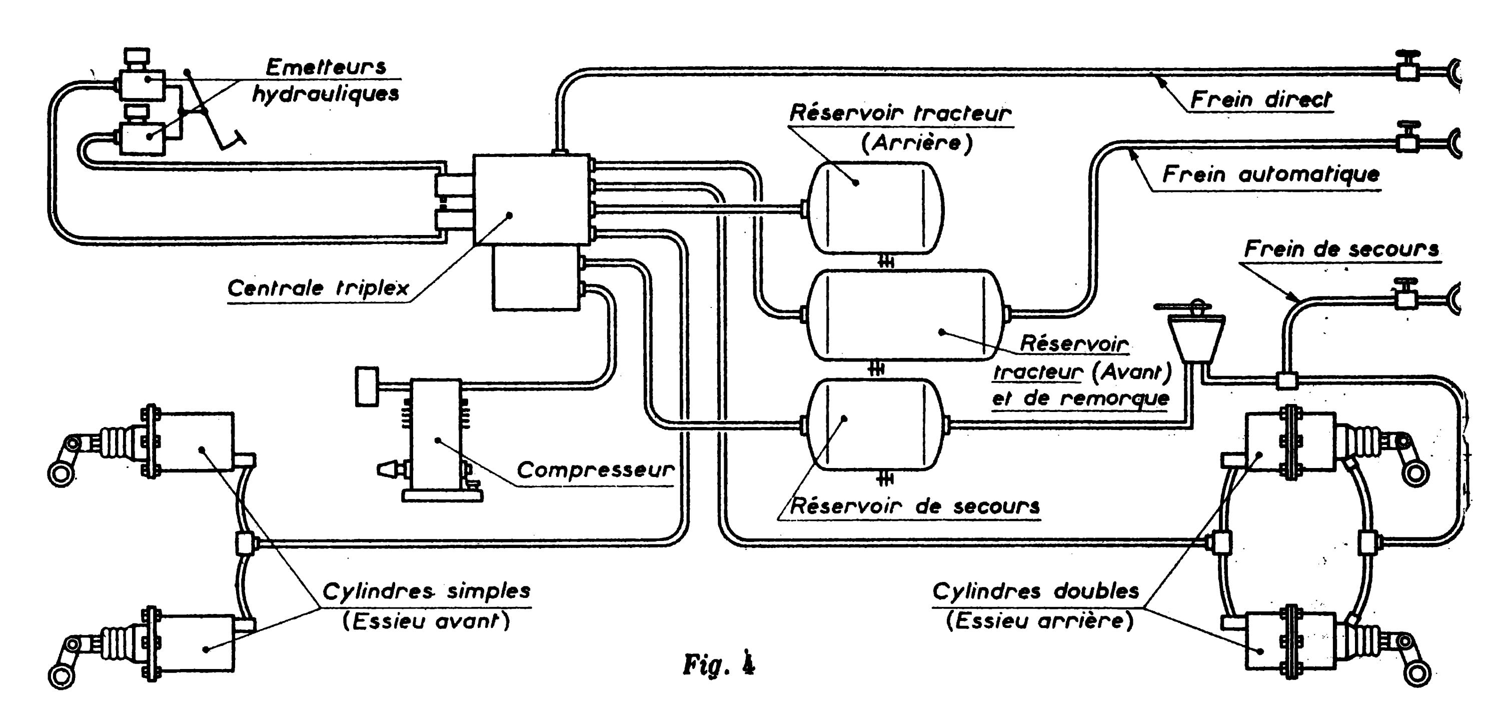


Fig. 4

INSTALLATION GÉNÉRALE DU DEUXIÈME DISPOSITIF

Dans ce système, un robinet, commandé par la pédale de frein admet de l'air comprimé dans un cylindre d'assistance pneumatique qui actionne le maître-cylindre du circuit hydraulique de commande des freins *(fig. 5)*.

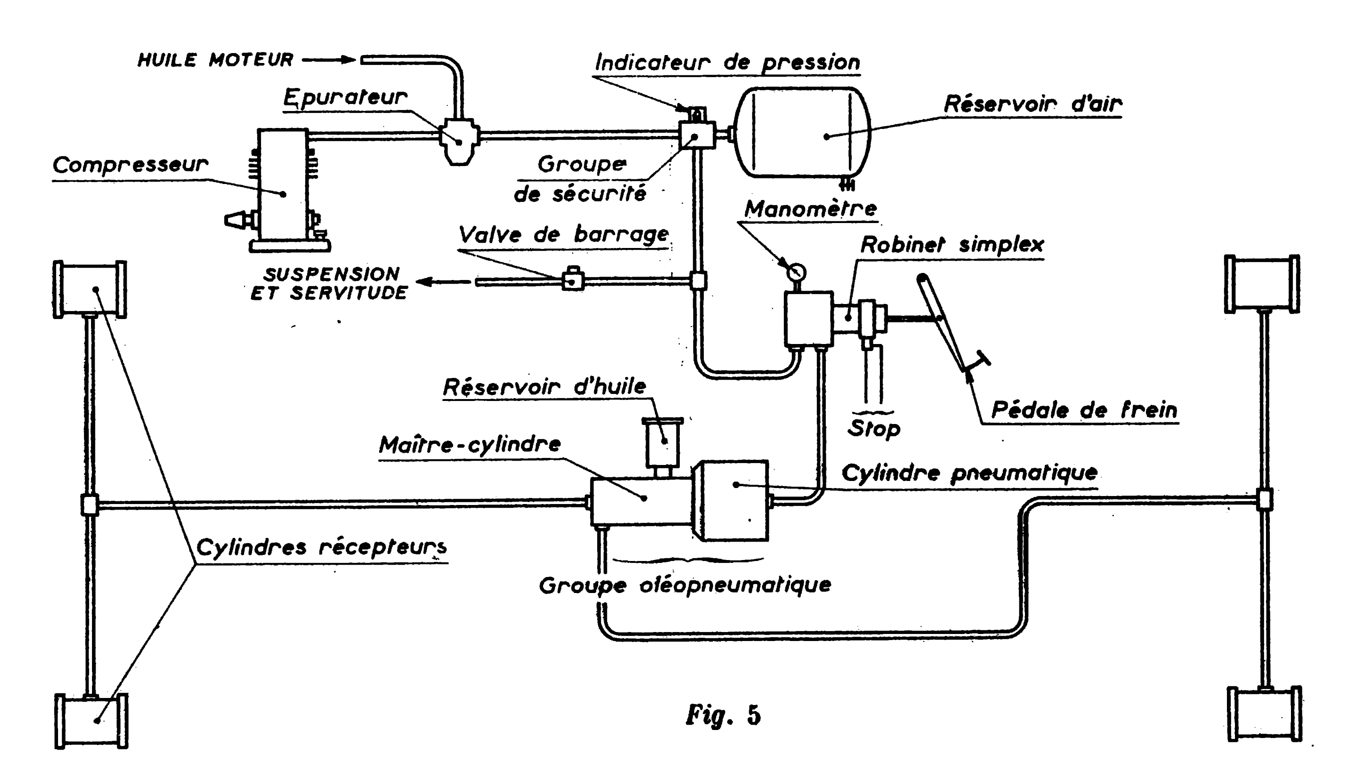


Fig. 5

La pression d'utilisation de l'air comprimé est limitée à 10 kg/cm², alors que la pression maximum dans le réservoir atteint 17 kg/cm².

Toutes les leçons doivent être conservées.

LES ORGANES AUXILIAIRES DU FREINAGE

Indépendamment des organes étudiés dans les leçons relatives au freinage, le code de la route prévoit des organes accessoires qui doivent équiper les véhicules industriels et les autobus afin que le dispositif de freinage réponde aux normes de sécurité ; ce sont l'indicateur de pression minimum, l'indicateur de stop, la valve de barrage.

Des organes supplémentaires peuvent aussi être adaptés sur les véhicules pour faciliter la conduite ; ce sont le robinet de freinage de remorque, le robinet d'immobilisation, la double-valve d'arrêt, le robinet vide-chargé.

L'INDICATEUR DE PRESSION MINIMUM

L'indicateur de pression minimum a pour rôle de signaler au conducteur toute défaillance de la réserve d'énergie de freinage. L'alerte est souvent donnée par une lampe qui s'allume lorsque la pression dans l'un quelconque des réservoirs tombe au-dessous d'une certaine valeur *(5 kg/cm²)*.

La mise en circuit ou hors-circuit de cette lampe est assurée par un commutateur commandé par la pression d'air. Ce commutateur est branché sur la tuyauterie de refoulement, entre le compresseur et les réservoirs. Il est constitué par un contact fixé sur une membrane et repoussé par un ressort taré à 5 kg/cm².

— Quand la pression est supérieure au tarage *(fig. 1 a)*, le contact est coupé : la lampe est éteinte.

— Quand la pression devient inférieure au tarage *(fig. 1 b)*, la membrane retombe ; le contact est assuré : la lampe s'allume.

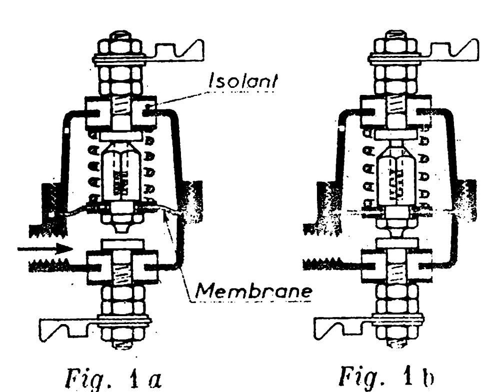


Fig. 1 a *Fig. 1 b*

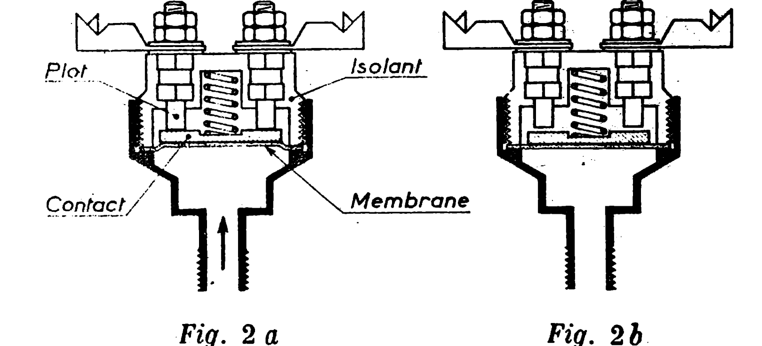


Fig. 2 a *Fig. 2 b*

LA COMMANDE DE STOP

La commande de stop a pour rôle de signaler par feux arrière l'entrée en action du dispositif de freinage, sur le camion et sur la remorque. Elle est assurée par un commutateur commandé par l'air comprimé *(fig. 2)*. Dans cet organe, une membrane porte un contact qui, au repos, est écarté de deux plots par un ressort dont le tarage est relativement faible *(0,250 kg/cm²)*.

— Dès qu'une pression d'air supérieure au tarage du ressort est envoyée dans le circuit de freinage, la membrane est soulevée. Le contact s'établit entre les deux plots *(fig. 2 a)* : les lampes de stop s'allument.

— Dès que l'action de freinage cesse, la pression devient nulle. La membrane est repoussée par le ressort *(fig. 2 b)* et le contact est coupé : les lampes de stop s'éteignent.

Certains types de robinets de frein comportent un contacteur commandé mécaniquement, par la pédale.

LA VALVE DE BARRAGE

La réserve d'air comprimé permet d'utiliser différents systèmes d'assistance qui améliorent le confort et diminuent la fatigue du conducteur : servo-débrayage, servo-commande des vitesses, servo-direction, commande de blocage de différentiels, commande des portières d'autobus, etc ... Le code de la route impose que l'énergie absorbée par ces différentes assistances ne provoque pas une diminution de l'efficacité des freins.

La valve de barrage *(fig. 3)* a pour fonction d'interrompre l'alimentation des servitudes dans le cas où la pression de l'air chute au-dessous de 5 kg/cm².

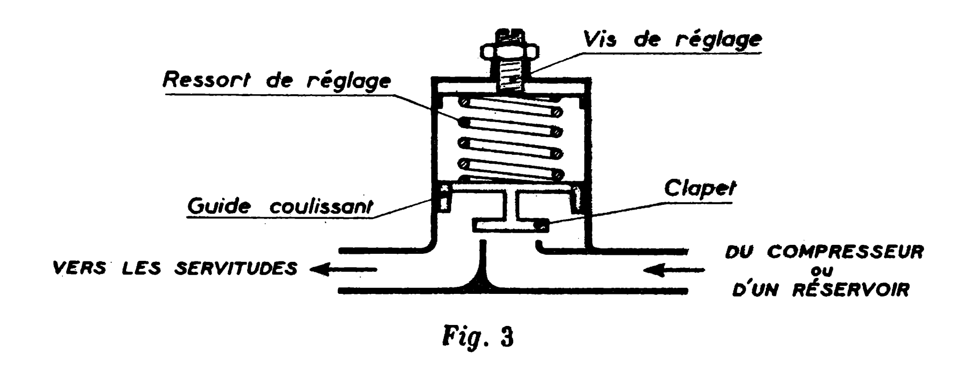


Fig. 3

LE ROBINET DE FREINAGE DE REMORQUE ET LE ROBINET D'IMMOBILISATION

Le robinet de freinage de remorque, indépendant des autres commandes de frein, permet le freinage de la remorque indépendamment du tracteur. Ce robinet est monté en dérivation sur la canalisation de frein direct de remorque, et peut mettre en communication, à l'aide d'une double valve d'arrêt, le réservoir de remorque et la valve relais d'urgence. Ce robinet est du même type que le robinet de commande du circuit de secours, à rampe inclinée ou à came.

Certains autobus urbains sont équipés de ce robinet qui permet d'immobiliser momentanément le véhicule pendant la montée et la descente des passagers ; ce qui évite la manœuvre du frein à pied et diminue la fatigue du chauffeur.

LA DOUBLE VALVE D'ARRÊT

Les véhicules équipés d'un robinet de frein de remorque ou d'un robinet d'immobilisation doivent comporter une double valve d'arrêt, qui permet d'utiliser soit le frein à pied, soit l'un de ces robinets à commande manuelle *(fig.* 4). La double valve d'arrêt est constituée d'un corps cylindrique pourvu de trois orifices disposés en T.

— Les orifices opposés A et B sont reliés chacun à l'un des robinets de commande.
— L'orifice médian C est relié aux cylindres de frein à alimenter.

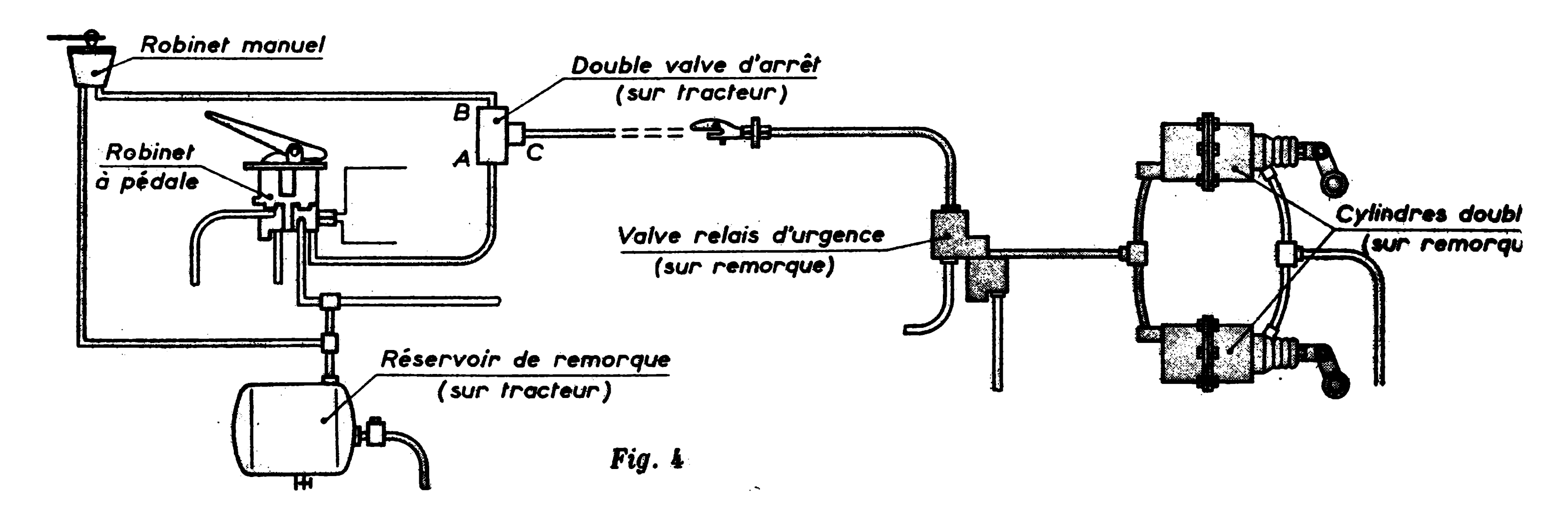


Fig. 4

A l'intérieur du cylindre, se déplace un piston-clapet qui peut obturer soit l'orifice B, soit l'orifice A.

— Lorsque le conducteur appuie sur la pédale de frein, l'air sous pression arrive en A et chasse le piston-clapet qui ferme l'orifice B et découvre l'orifice C. La communication est donc ouverte automatiquement entre le robinet à pédale et les cylindres de frein à alimenter.

— Au contraire, si, après avoir lâché sa pédale, le conducteur agit sur le robinet à main, le piston-clapet est repoussé dans l'autre sens, obstruant l'orifice A. L'air comprimé arrivant par B s'écoule alors vers les cylindres de frein par l'orifice C.

Remarque :

En dehors du freinage, la double valve d'arrêt peut être utilisée toutes les fois qu'un organe fonctionnant à l'air comprimé est alimenté par deux appareils de commande différents. L'exemple le plus courant est celui de la manœuvre pneumatique des portes sur certains autobus. Les commandes de ces portes comportent généralement deux robinets de manœuvres, l'un qui est normalement à la disposition du conducteur, l'autre qui peut être actionné soit par un convoyeur, soit par les usagers eux-mêmes.

LE ROBINET VIDE-CHARGÉ

Sur les remorques et semi-remorques, en particulier les citernes, il est souvent nécessaire de limiter la puissance du freinage, lorsque la remorque est vide ou partiellement chargée. Le robinet vide-chargé permet de limiter la pression d'air admise dans le circuit de frein direct de la remorque, en fonction du chargement. Ce robinet comporte cinq positions :

Positions du robinet	Charge de la remorque	Pression admise *(En kg/cm²)*
1	Vide.	2
2	Au quart.	3,5
3	A la moitié.	5
4	Aux trois-quarts.	6,5
5	Chargée.	8

Le robinet vide-chargé est un robinet détendeur, qui dérive directement des différents types de robinets à commande manuelle à rampe inclinée ou à came. Le fonctionnement en est le même, sauf qu'il n'y a pas de position repos. En effet, dans la position *vide*, le ressort se trouve déjà comprimé.

La valeur de la pression admise aux cylindres de frein est proportionnelle à la tension du ressort, tension qui est réglée par les cinq positions de la poignée. Comme pour tous les types de robinets, à pédale ou à main, la pression admise se stabilise lorsqu'il y a *équilibre* entre la tension du ressort de commande et la pression de l'air sous le piston.

Le robinet peut être placé à proximité du poste de conduite, dans la cabine du tracteur ou sur la remorque. Dans les deux cas, il doit être branché sur le circuit de frein direct de remorque. Certains robinets vide-chargé sont incorporés dans la valve relais d'urgence.

Remarque :

Pour éviter un déplacement intempestif et incontrôlé de la poignée de commande, certains robinets sont munis d'une languette de positionnement *(fig. 5)*.

Cette languette vient s'encastrer dans l'un des cinq créneaux portés par le corps du robinet.

Ces créneaux correspondent aux cinq positions indiquées plus haut, qui déterminent les pressions de freinage.

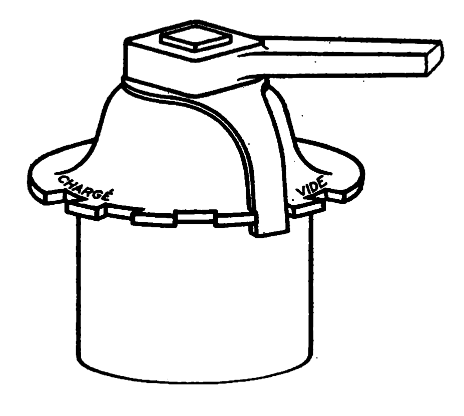


Fig. 5

Toutes les leçons doivent être conservées.

LES DISPOSITIFS RALENTISSEURS

L'utilisation de frein de ralentissement devient primordiale sur les gros véhicules industriels. En effet, lorsque le véhicule se déplace particulièrement sur les routes accidentées, l'utilisation de l'équipement de freinage peut être très fréquente, malgré le choix d'un rapport de boîte de vitesses adéquat pour utiliser la retenue du moteur.

En raison de l'importance du véhicule ou du convoi, cette retenue du moteur représente une puissance de freinage assez faible. Pour pallier cette déficience, on peut utiliser le système de freinage normal. Mais si cette utilisation est intensive, on risque :

— de faire chuter la pression d'air des réservoirs ;
— de diminuer dangereusement l'efficacité de freinage à cause de l'échauffement des garnitures qui ne peuvent plus évacuer au fur et à mesure les calories emmagasinées lors des freinages répétés.

Les dispositifs ralentisseurs permettent de freiner le véhicule sans utilisation du système normal de freinage.

Le code de la route rend obligatoire l'adaptation d'un ralentisseur, en plus de l'équipement existant, sur les véhicules de transport en commun de plus de 8 tonnes de P.T.C., appelés à circuler dans des régions dont le réseau routier est dangereux et accidenté. Bien que le ralentisseur ne soit pas obligatoire sur les camions, un grand nombre de ces véhicules en sont actuellement munis. Nous étudierons le frein électro-magnétique sur la transmission, le ralentisseur sur l'échappement, le ralentisseur hydraulique.

LE FREIN ÉLECTROMAGNÉTIQUE SUR LA TRANSMISSION

Si l'on fait tourner un disque en acier dans un champ magnétique il se crée dans le disque des courants de *Foucault* ou champs tournants qui le freinent. Le ralentisseur sur la transmission comporte *(fig. 1)* :

— une partie immobile : le *stator* fixé au châssis et dans lequel sont placées des bobines d'électro-aimants qui créent le champ magnétique ;

— une partie mobile : le *rotor* constitué par deux disques montés sur un arbre solidaire de la transmission, entre la boîte de vitesses et le pont.

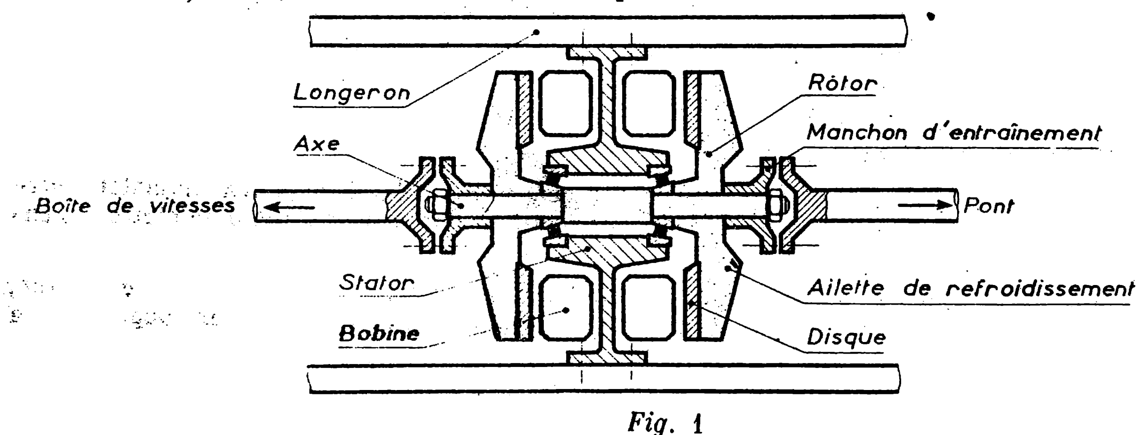


Fig. 1

Le freinage s'effectue uniquement par action électro-magnétique, à l'exclusion de tout contact entre les parties fixes et les parties mobiles. Il n'y a aucun frottement, par conséquent, pas d'usure.

Le ralentisseur ne fonctionne que lorsque le véhicule roule. Sa commande est assurée par un dispositif à main, à plusieurs positions, qui permet d'envoyer le courant dans un nombre plus ou moins important de bobines et de faire varier le couple résistant ***(jusqu'à 160 m. kg).***

Il est indispensable de marquer un temps d'arrêt à chaque position pour éviter un freinage trop brutal.

Il faut toujours ramener le contacteur à la position arrêt lorsque le véhicule est immobilisé, afin d'éviter l'échauffement de l'ensemble et la décharge de la batterie.

Remarque :

Sur certains véhicules, la commande de frein électrique est conjuguée avec la pédale de frein classique.

LE RALENTISSEUR SUR L'ÉCHAPPEMENT DU MOTEUR

Un volet *(fig. 2)* commandé depuis le tableau de bord, obture complètement la tuyauterie d'échappement du moteur qui fonctionne alors comme un compresseur et freine le véhicule, si une vitesse est enclenchée.

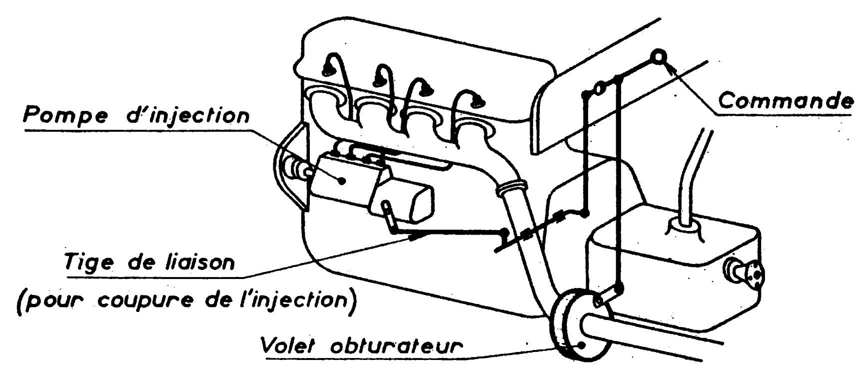


Fig. 2

La commande coupe également l'injection en ramenant la crémaillère en position stop, de façon qu'il n'y ait pas de combustion.

En outre, il est recommandé de prévoir une inter-action entre le levier de commande de l'obturateur et la pédale d'embrayage, de façon à être sûr d'ouvrir l'obturateur et l'injection avant de débrayer. Faute de cette précaution on risque de caler le moteur en rétrogradant de vitesse.

Remarque :

Sur de nombreux véhicules, la commande manuelle est remplacée par une commande pneumatique. Un bouton-poussoir, commandé au pied, admet l'air comprimé :

— d'une part au vérin de coupure de l'injection,
— d'autre part au vérin de commande du volet obturateur d'échappement.

Une conjugaison avec la pédale de débrayage supprime le risque de calage du moteur, lors du passage des vitesses.

LE RALENTISSEUR HYDRAULIQUE

Le ralentisseur hydraulique est constitué par un rotor solidaire de la transmission, entre la boîte et le pont. Ce rotor, muni d'ailettes, tourne entre les parties fixes d'un stator. L'ensemble est enfermé dans un carter étanche.

Le freinage est obtenu par admission d'huile dans ce carter. En agissant sur les ailettes, l'huile s'oppose au mouvement du rotor. Un couple résistant important est alors appliqué à la transmission, ce qui freine le véhicule.

Remarques :

1° Ce dispositif est très peu utilisé, sauf sur certains véhicules spéciaux.

2° Le ralentisseur est parfois placé dans la boîte de vitesses *(boîte Allison)*.

VEHICULES
POIDS LOURDS

TABLE DES MATIÈRES

VÉHICULES POIDS LOURDS

★

Table des Matières

© Editions de l'Artisanat Moderne - 25, rue des Ecoles - Paris (5e)

Dépôt légal 1er trimestre 1966

VÉHICULES POIDS LOURDS

Table des Matières

© Editions de l'Artisanat Moderne - 25 rue des Ecoles - Paris (5e)

Dépôt légal 2e trimestre 1967